
EVIDENCIAS EMPÍRICAS EN INGENIERÍA DE LÍNEAS DE PRODUCTOS DE SOFTWARE

UNA APROXIMACIÓN EN ORGANIZACIONES SIN CONOCIMIENTOS
SOBRE SPLE

ANA EVA CHACÓN LUNA



ADVISED BY:
DR. DAVID BENAVIDES CUEVAS AND DR. ANTONIO MANUEL GUTIÉRREZ
FERNÁNDEZ

TESIS DOCTORAL

First published in July 2022 by
The Department of Computer Languages and Systems
ETSI Informática
Avda. de la Reina Mercedes s/n
Sevilla, 41012. SPAIN

Copyright © MMXXII Ana Eva Chacón Luna
achaconl1@unemi.edu.ec

Categorías (ACM 2012):

Categories and subject descriptors: [100]Software and its engineering->Software creation and management->Software verification and validation->Empirical software validation

[100]Software and its engineering->Software creation and management->Software development technique->Reusability->Software product lines

General Terms: Reusability, Variabilidad, Ingeniería del dominio, Gestión de producto.

Additional Key Words and Phrases: Software product family, Gestión de la variabilidad, Systematic literature review, Case Study, Survey

Financiación: This work has been partially supported by University of Milagro (UNEMI) with its scholarship program. It has also been partially funded by the Project (RTI2018-101204-B-C22, OPHELIA), funded by: FEDER/Ministry of Science and Innovation - State Research Agency; and the Junta de Andalucía COPERNICA (P20_01224) and METAMORFOSIS (FEDER_US-1381375) projects.

Don David Benavides y Don Antonio Gutiérrez, profesor titular de la Universidad de Sevilla e Investigador postdoctoral de la Universidad Johannes Kepler de Linz, respectivamente.

HACEN CONSTAR

que Doña Ana Eva Chacón Luna, Ingeniera en Sistemas Computacionales por la Universidad Estatal de Milagro, Ecuador; ha realizado bajo nuestra supervisión el trabajo de investigación titulado

Evidencias Empíricas en Ingeniería de Líneas de Productos de Software. Una aproximación en organizaciones sin conocimientos sobre SPLE.

Una vez revisado, autorizamos el comienzo de los trámites para su presentación como tesis doctoral al tribunal que ha de juzgarlo.

Fdo. Dr. David Benavides y Dr. Antonio Gutiérrez
Universidad de Sevilla,
Sevilla, Julio de 2022

Yo, Ana Eva Chacón Luna, con número de pasaporte 0923480438,

DECLARO

Ser la autora del trabajo que se presenta en la memoria de esta tesis doctoral que tiene por título:

*Evidencias Empíricas en Ingeniería de Líneas
de Productos de Software. Una aproximación
en organizaciones sin conocimientos sobre
SPLE.*

Lo cual firmo en Sevilla, Julio de 2022.

Fdo. Ana Eva Chacón Luna

A Dios por todas sus bendiciones.
A mis padres José Chacón y Ana Luna por el apoyo incondicional en todo momento y a mis hijos Amy Dayanna y Jorgito Alejandro Jiménez Chacón.
A mi Abuelo Juan José Chacón Morán y a mi hermana Alexandra.

Agradecimientos

A mis padres José y Ana que desde pequeña me aconsejaban *"Que todo en la vida se consigue con esfuerzo."* Estas palabras sirvieron de mucho para superar los obstáculos que me tocó vivir a nivel personal y profesional en la etapa de estudio de doctorado y así poder culminar este largo proceso.

Al terminar los estudios de doctorado me siento muy feliz, fueron años donde aprendí mucho no sólo en conocimiento sino a nivel personal, formaron mi carácter y me han hecho la persona que hoy soy. Sin duda, la dedicación el apoyo de directores de tesis los consejos de amigos y el amor de mi familia fueron los pilares fundamentales para cumplir con esta meta.

Quiero agradecer especialmente a mis directores de investigación, el Dr. David Benavides y el Dr. Antonio Gutierrez al primero por la paciencia el apoyo los consejos, por haberme comprendido en los altibajos que tuve durante el proceso y por guiarme en la investigación y compartir sus conocimientos conmigo; al segundo, por haber sido un gran apoyo a nivel profesional para concluir la tesis guiándome en el proceso de investigación. Al Dr. José Galindo por la participación conjunta en una de las contribuciones de la tesis.

A los directivos de la empresa TechSoft que me permitieron desarrollar el estudio de caso y a la Red TASOVA que colaboró en la aplicación de la encuesta; contribuciones presentadas en la tesis.

A la Universidad Estatal de Milagro y a sus directivos Fabricio, Jesennia y Richard por brindarme la oportunidad de cumplir con este objetivo profesional a través de la beca de estudio para desarrollar el doctorado en el exterior.

Finalmente, mi agradecimiento a mis hijos Dayanna y Jorgito que fueron quienes indirectamente se vieron afectados por mi ausencia y a la vez fueron mi motivación para concluir este trabajo.

A mis compañeros de investigación Jorge, Mariuxi, Bedilia con los cuales hemos compartido sinnúmero de situaciones académicas y de convivencia que fortaleció nuestra amistad y me permitió disfrutar de esta gran y enriquecedora experiencia en el desarrollo del doctorado.

Resumen

Lo que conocemos es una gota, lo que no conocemos es un océano.

Isaac Newton

La forma en que los productos son elaborados ha cambiado significativamente con el paso del tiempo. De manera particular, la industria del software ha pasado de producir software a la medida a software que soporta la personalización en masa combinada con el uso de plataformas, lo que ha permitido que una tecnología base pueda ser reutilizada. A este paradigma se le conoce como ingeniería de líneas de productos de software "software product line engineering (SPLE)". La adopción del paradigma SPLE permite ahorrar costos, tiempo de desarrollo y al mismo tiempo aumenta la calidad del software, gestionando la variabilidad de una línea de productos de software.

Son muchos los estudios reportados en la literatura que abordan temas de ingeniería de líneas de productos de software. También existe un crecimiento de estudios empíricos en SPLE, se cree que este comportamiento responde a que los estudios de evidencia empírica permiten crear conocimiento mediante las experiencias académicas o industriales reportadas.

Sin embargo, antes de este trabajo de investigación no existía un estudio que sintetice y evalúe la calidad de los estudios empíricos reportados en SPLE, provocando el desconocimiento de datos sobre experiencias de otros investigadores en evidencias empíricas del área. Además, ninguno de los estudios reportados analiza como las empresas que no han adoptado el paradigma SPLE realizan prácticas que permitan la gestión de la variabilidad en sus productos.

En esta tesis, para abordar la falta de estos estudios, primero se presenta una revisión sistemática de la literatura de estudios empíricos en líneas de producto software. El principal objetivo de esta revisión fue evaluar la calidad de los estudios reportados y mostrar las brechas de investigación que motive a los investigadores a centrar sus esfuerzos en las áreas que lo requieran. Como estudio de las prácticas de gestión de la variabilidad se presentan dos estudios fundamentados en evidencias empíricas: un diseño de estudio de caso y una

encuesta. Ambos estudios buscan conocer cómo gestionan la variabilidad las empresas. En concreto, pretenden analizar las prácticas que realizan las empresas para la adaptación/personalización de sus productos, se informa de manera que los protocolos usados y las evidencias encontradas puedan ser usadas por la comunidad investigadora para futuras réplicas o estudios.

Algunos hallazgos encontrados en la revisión sistemática de la literatura de estudios empíricos en líneas de producto software, destacaron que el interés por este tipo de estudios ha ido en aumento desde 2008. Alrededor del 95,16 % de los estudios abordan aspectos relacionados con la ingeniería de dominio, mientras que la ingeniería de aplicaciones recibe menos atención. También se reportó que la madurez de ejecución del método utilizado en los estudios de caso fue mayor que en los experimentos, sólo el 38,88 % de los experimentos y el 60 % de los estudios de caso obtuvieron una calificación adecuada al ser evaluados.

Por otra parte, los hallazgos encontrados con relación a los estudios empíricos que buscaban conocer cómo gestionan la variabilidad las empresas, reportaron que la variabilidad a nivel de gestión de productos se gestiona parcialmente. Las empresas definen el alcance y suelen tener una plataforma común de donde se derivan más productos. Se destacó que menos del 50 % de las empresas documentan el análisis que realizan para evidenciar las características de sus productos. Sin embargo, realizan análisis para efectuar la reutilización de componentes comunes.

Con estas contribuciones, sentamos las bases para futuros estudios empíricos que permitan validar los hallazgos y presentar propuestas de mejoras al framework SPLE y coadyuvar a la transferencia de la investigación académica a entornos industriales.

Abstract

How the products are made has changed significantly over time. In particular, the software industry has moved from producing custom software to software that supports mass customization combined with the use of software platforms. These platforms allow the base technology to be reused. This paradigm is known as software product line engineering (SPLE). The adoption of the SPLE paradigm allows to save costs, development time and at the same time increases the quality of the software by managing the variability of a software product line.

There are many studies that address software product line engineering issues. There is also a growth of empirical studies in SPLE. It is believed that this behavior responds to the fact that empirical evidence studies allow knowledge to be created through reported academic or industrial experiences.

However, before this research work, there was no study that synthesizes and evaluates the quality of the empirical studies reported on SPLE, causing a lack of data on the experiences of other researchers in empirical evidence in the area. In addition, none of the reported studies analyzes how companies that have not adopted the SPLE paradigm manage the variability in their products.

In this thesis, to address the lack of such studies, a systematic literature review of empirical studies on software product lines is presented. The main objective of this review was to evaluate the quality of the reported studies and to show the research gaps that motivate researchers to focus their efforts on the areas that require it. As a study of variability management practices, two studies based on empirical evidence are presented: a case study design and a survey. Both studies aim to understand how companies manage variability. Specifically, they analyze the practices carried out by companies for the adaptation/personalization of their products. The protocols used and the evidence found in these studies can be used by the research community for future replications or studies.

Some of the conclusions found in the systematic literature review of empirical studies on software product lines highlighted that interest in this type of study has been increasing since 2008. Around 95.16 % of the studies address

aspects related to the domain engineering, while application engineering receives less attention. It was also reported that the execution maturity of the method used in the case studies was higher than in the experiments.

On the other hand, the conclusions found in relation to the empirical studies that sought to know how companies manage variability, reported that variability at the product management level is partially managed. Companies define the scope and usually have a common platform from which more products are derived. It was highlighted that less than 50% of the companies document the analysis they perform to evidence the characteristics of their products. However, they analyze how to reuse common components.

With these contributions, we lay the foundations for future empirical studies that allow us to validate the findings and present improvements to the SPLE framework and contribute to the transfer of academic research to industry.

Índice general

Abstract

I PRELIMINARES

1	Introducción	3
1.1	Antecedentes	4
1.2	Contexto de investigación	5
1.2.1	Ingeniería de líneas de productos de software	5
1.2.2	Paradigma de estudio basado en la evidencia para conocer las prácticas de ingeniería del software	7
1.2.3	Métodos empíricos en ingeniería del software	8
1.3	Método de investigación	9
1.4	Contribuciones	10
1.4.1	Resumen de contribuciones	10
1.4.2	Publicaciones en orden cronológico	13
1.5	Estructura de la tesis	15

II ANTECEDENTES

2	Líneas de productos de software (SPL)	19
2.1	Introducción	20
2.1.1	Plataforma software	21
2.2	Ingeniería de línea de productos de software	22
2.2.1	Prerrequisitos para la adopción de líneas de productos de software	22
2.2.2	Beneficios de la adopción	24
2.3	Marco de trabajo de las líneas de producto software	26
2.4	Ingeniería del dominio	28

2.4.1	Gestión de productos	29
2.4.2	Ingeniería de requisitos de dominio	30
2.4.3	Diseño del dominio	31
2.4.4	Realización del dominio	32
2.4.5	Pruebas del dominio	34
2.5	Ingeniería de aplicación	35
2.5.1	Ingeniería de requisitos de aplicación	35
2.5.2	Diseño de aplicación	36
2.5.3	Realización de aplicación	37
2.5.4	Pruebas de aplicación	38
2.6	Variabilidad en la ingeniería de línea de productos de software	39
2.6.1	Variabilidad en el sujeto y el objeto	40
2.6.2	Variabilidad en el tiempo y espacio	42
2.6.3	Variabilidad interna y externa	42
2.6.4	Gestión de la variabilidad	43
2.7	Resumen	45
3	Métodos empíricos	47
3.1	Introducción	48
3.2	Características de los métodos de investigación empírica	48
3.3	Encuesta	51
3.3.1	Definición del estudio	52
3.3.2	Diseño de la encuesta	52
3.3.3	Implementación de la encuesta	53
3.3.4	Ejecución de la encuesta	56
3.3.5	Análisis e interpretación de los datos	56
3.3.6	Informe de los resultados de la encuesta	57
3.4	Estudios de caso	58
3.4.1	Diseño del estudio del caso	60
3.4.2	Preparación de la colección de datos	67
3.4.3	Análisis de la colección de datos	73
3.4.4	Informe	78
3.5	Experimentos	81
3.5.1	Alcance del experimento	82
3.5.2	Planificación del experimento	82
3.5.3	Operación del experimento	86
3.5.4	Análisis e interpretación	87
3.5.5	Presentación de resultados	88

3.6	Resumen	88
-----	---------------	----

III CONTRIBUCIONES

4	Motivación	91
4.1	Introducción	92
4.2	Problemas	92
4.3	Análisis de soluciones propuestas	93
4.3.1	Estudios empíricos en SPL	94
4.3.2	Gestión de la variabilidad	94
4.4	Discusión	94
4.4.1	Estudios empíricos en líneas de productos de software ..	95
4.4.2	Gestión de la variabilidad en empresas	98
4.5	Resumen	100
5	Estudios empíricos en SPL	103
5.1	Introducción	104
5.2	Procedimiento	105
5.2.1	Fase 1: Planificación de la revisión	106
5.2.2	Fase 2: Realización de la revisión	114
5.2.3	Fase 3: Informe de la SLR	117
5.2.4	Amenazas a la validez	117
5.3	Resultados	118
5.3.1	¿Existen estudios empíricos sobre el SPLE con intervención humana?	119
5.3.2	¿Cuál es la calidad de los estudios empíricos reportados en SPLE?	129
5.3.3	¿Cuál es el alcance de la investigación empírica en SPLE? ..	135
5.4	Resumen	140
6	Gestión de la variabilidad: estudio de caso	143
6.1	Introducción	144
6.2	Proceso del estudio de caso	145
6.3	Diseño del estudio de caso	146
6.3.1	Justificación y objetivo	146
6.3.2	Caso y unidades de análisis	147
6.3.3	Preguntas de investigación, proposiciones e hipótesis ..	148

6.3.4	Métodos de recogida de datos	151
6.3.5	Estrategia de selección de datos	155
6.3.6	Métodos de análisis de datos	155
6.3.7	Amenazas a la validez	156
6.4	Validación del diseño: resultados preliminares	156
6.4.1	Contexto	156
6.4.2	Objetivo del estudio	157
6.4.3	Tipo de estudio de caso y unidades de análisis	157
6.4.4	Procedimientos de recogida de datos	158
6.5	Discusión	161
6.6	Resumen	161
7	Gestión de la variabilidad en empresas: encuesta	163
7.1	Introducción	164
7.2	Objetivo y preguntas de investigación	165
7.3	Método de investigación	166
7.3.1	Definición del estudio	167
7.3.2	Diseño de la encuesta	168
7.3.3	Implementación de la encuesta	169
7.3.4	Ejecución de la encuesta	171
7.3.5	Análisis e interpretación de los datos	171
7.3.6	Informe de resultados de la encuesta	172
7.4	Discusión	183
7.4.1	Análisis estadístico	185
7.5	Resumen	190

IV PARTE FINAL

8	Conclusiones y trabajo futuro	193
8.1	Conclusiones	193
8.1.1	Estudios empíricos en líneas de productos de software ..	193
8.1.2	Gestión de la variabilidad en empresas	195
8.2	Trabajo futuro	197
8.2.1	Estudios empíricos en líneas de productos de software ..	197
8.2.2	Gestión de la variabilidad en empresas	197
8.3	Una última frase para concluir	198

V APÉNDICES

A Estudios empíricos en SPLE	201
A.1 Cadena de búsqueda utilizadas en bases de datos	201
A.2 Propiedades de extracción de datos	203
A.3 Características de un informe de estudio de caso	203
B Fuentes primarias para el SLR	209
C Encuesta sobre SPLE	219
C.1 Perfil de la empresa	219
C.2 Gestión del desarrollo	220

Índice de figuras

1.1	Orden cronológico de conferencias y publicaciones	14
2.1	Marco de ingeniería de líneas de productos de software [172]	27
2.2	Flujo de información entre la gestión de producto y otros subprocesos [172]	29
2.3	Flujo de información entre la ingeniería de requisitos de dominio y otros subprocesos [172]	30
2.4	Flujo de información entre el diseño de dominio y otros subprocesos [172]	32
2.5	Flujo de información entre la realización de dominio y otros subprocesos [172]	33
2.6	Flujo de información entre las pruebas de dominio y otros subprocesos [172]	34
2.7	Flujo de información entre la ingeniería de requisitos de aplicación y otros subprocesos [172]	35
2.8	Flujo de información entre el diseño de aplicación y otros subprocesos [172]	37
2.9	Flujo de información entre la realización de aplicación y otros subprocesos [172]	38
2.10	Flujo de información entre las pruebas de aplicación y otros subprocesos [172]	39
2.11	Cantidad de variabilidad en diferentes niveles de abstracción [172]	43
3.1	Etapas e Iteraciones de una encuesta [97]	51
3.2	Tratamiento de caso y unidad de análisis en un estudio de caso [211]	61
3.3	Etapas del análisis de datos [177]	74
3.4	Fases de ejecución de un experimento [210]	82
3.5	Proceso de un experimento [210]	83
5.1	Fase del proceso de SLR [134, 149]	106
5.2	Fase 1. Planificación del proceso de revisión [134, 149]	106
5.3	Protocolo de revisión siguiendo las guías de Kitchenham [149]	109

5.4	Fase 2: Realización de la revisión [149]	114
5.5	Fases durante la selección de estudios primarios	115
5.6	Estrategias empíricas utilizadas en procesos SPLE	120
5.7	Ámbito de estudio	125
5.8	Cronología de publicación de trabajos	136
5.9	Evolución de los estudios según las estrategias	137
5.10	Clasificación de artículos según el país	138
7.1	Tamaño de empresas encuestadas	172
7.2	Años de experiencia laboral en la producción de software	172
7.3	Tipos de productos que desarrollan	173
7.4	Relación entre ejecución de proyecto y productos similares	174
7.5	Porcentaje de proyectos desarrollados desde 0	174
7.6	Percepción del cliente de variabilidad externa	175
7.7	Relación entre productos existentes y personalización/adaptación de nuevos productos	176
7.8	Documentación de las especificaciones/ características de productos	177
7.9	Identificación de artefactos reutilizables (plataforma estrella)	177
7.10	Visión en tareas de evolución o mantenimiento	178
7.11	Documentación de análisis de requisitos comunes y variables de los productos (matriz)	179
7.12	Análisis de componentes reutilizables	180
7.13	Descripción de interrelaciones entre características específicas de productos	180
7.14	Documentación de los componentes comunes	181
7.15	Nivel de conocimiento de conceptos	182
7.16	Análisis correlacional	189

Índice de tablas

3.1	¿Cuándo utilizar diferentes método de investigación? [180]	49
3.2	Características de los métodos de investigación [180]	50
3.3	Protocolo de estudio de caso según Brereton y otros [86]	67
3.4	Descripción general de los tipos de entrevista [180]	70
3.5	Estructura de informe [129]	80
4.1	Trabajos relacionados	96
5.1	Preguntas de investigación	107
5.2	Palabras claves utilizadas para construir las cadenas de búsqueda .	110
5.3	Criterios de inclusión y exclusión	112
5.4	Estudios empíricos sobre SPLE con estudio de caso.	
5.5	Estudios empíricos sobre SPLE con experimentos.	123
5.6	Elementos de contexto	124
5.7	Número de participantes	125
5.8	Tipos de muestra	126
5.9	¿Qué se evalúa?	127
5.10	Objetivo empírico	128
5.11	Resumen de los experimentos	130
5.12	Resumen de los estudios de caso	132
5.13	Características que debe tener un informe de estudio de caso [177] .	134
5.14	Número de artículos por revista o congreso	135
5.15	Estrategias empíricas clasificadas por año	137
5.16	Autores con más de dos publicaciones en evidencias empíricas	139
6.1	Pregunta de investigación RQ1	152
6.2	Pregunta de investigación RQ2	153
6.3	Pregunta de investigación RQ3	154
A.1	Cadena de búsqueda y artículos recuperados de cada biblioteca . . .	202
A.2	Propiedades de extracción de datos	204

A.3	Extracción de datos de estudios de casos	205
A.4	Extracción de datos de los experimentos	206
A.5	Características que debe tener un informe de estudio de caso [177] .	207
C.1	Secciones sobre el perfil de la empresa	219
C.2	Secciones sobre la gestión del desarrollo	220

Parte I

PRELIMINARES

Capítulo 1

Introducción

Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad.

Albert Einstein

En esta disertación, presentamos la tesis sobre evidencias empíricas en líneas de productos de software. Una aproximación en organizaciones sin conocimientos de SPLE. En concreto en este capítulo, describimos el contexto de esta investigación en la Sección §1.1. La Sección §1.2 describe el contexto del desarrollo de la tesis. Las Secciones §1.3 y §1.4 abordan el método de investigación aplicado y las publicaciones relacionadas a la tesis, respectivamente. Por último, la Sección §1.5 describe la estructura de la tesis.

1.1. Antecedentes

Con el transcurso de los años, el progreso tecnológico, los cambios sociales y las demandas cada vez más exigentes del mercado, los procesos productivos se han enfrentado a la necesidad de evolucionar. Antes de la revolución industrial, los productos eran desarrollados de forma artesanal. A finales del siglo XIX, Frederick Taylor, como respuesta a la búsqueda de la optimización de recursos humanos y tecnológicos, introduce la teoría de un nuevo paradigma de producción conocido como "producción en masa". Este paradigma tenía como objetivo principal la producción de una gran cantidad del mismo producto utilizando procesos estandarizados en un tiempo de comercialización reducido (Zipkin [214]).

Aunque la idea nace con Taylor, ésta no se vuelve realidad hasta que Henry Ford en 1913 aplica con éxito lo que se conoce como *producción en masa*, lo que le permitió producir para un mercado en masa de forma más económica comparado con la creación de productos individuales de forma artesanal [155]. Este tipo de mecanismo de producción, a pesar de que garantiza la fabricación en grandes volúmenes de productos para satisfacer una gran demanda y la entrega inmediata del mismo, no satisfacía completamente a los clientes, ya que no permitía la personalización de productos de acuerdo a sus necesidades particulares. Esta necesidad dio origen a lo que se conoce como *personalización en masa*. Según McCarthy [161], "la personalización en masa consiste en la producción de cantidades de productos y servicios de forma personalizada para cada cliente manteniendo la calidad y el plazo de entrega". Para la personalización en masa exitosa fue necesario planificar y establecer componentes comunes en sus productos, a lo que se denominó *plataforma común*, que permite que una tecnología pueda ser reutilizada, reduciendo esfuerzos.

La industria de la ingeniería de software no se aleja de esta evolución. De forma general, tanto los productos individuales como los en masa pueden relacionarse dentro del dominio de software como *software a la medida* y *software genérico*. El concepto de plataformas también se aplica dentro del ámbito del software, ya que ante la necesidad de una producción en masa, tener un conjunto de componentes comunes que permitan la reutilización es clave. A este paradigma de diseñar componentes comunes para su reutilización se lo conoce como *ingeniería en línea de productos de software*, (SPLE) de acuerdo a Pohl y otros [172]. Las líneas de productos de software (SPL) han existido desde finales de la década de 1970 y han ganado gran importancia pues brindan beneficios para gestionar la variabilidad del producto. Empresas alrededor del mundo dan testimonio de sus ventajas [63, 122, 181].

Según Basili y otros [72], "las debilidades y los beneficios de las tecnologías

se pueden identificar a través de estudios empíricos". Esto puede explicar por qué la SPLE ha comenzado a enfatizar los métodos de investigación empíricos para mejorar la validez y generalización de los resultados de investigación [74, 200, 209, 213]. Actualmente existe un gran número de trabajos que aborda temas de ingeniería de líneas de producto software con evidencia empírica. Sin embargo no existe un estudio que sintetice y evalúe la calidad de los estudios empíricos reportados en SPLE, provocando el desconocimiento de datos sobre experiencias de otros investigadores en evidencias empíricas del área.

Otra problemática de investigación existente es que entre los estudios empíricos reportados en la literatura no existe algún estudio empírico que analice como las empresas gestionan la variabilidad en sus productos sin la necesidad de que la empresa adopte el paradigma de SPL. El resultado de este esfuerzo puede ser fundamental para posibilitar la futura transferencia de la investigación académica a entornos industriales.

De manera específica esta tesis aborda los siguientes problemas:

1. NO HAY ESTUDIOS QUE SINTETICEN EN QUÉ CONTEXTOS SE HAN APLICADO LOS ESTUDIOS EMPÍRICOS EN SPL, EVALÚEN LA CALIDAD Y MUESTREN LA EVOLUCIÓN DE DICHS ESTUDIOS.
2. DESCONOCIMIENTO DE COMO LAS EMPRESAS QUE NO IMPLMENTAN EL PARADIGMA DE SPLE EJECUTAN PRACTICAS PARA GESTIONAR LA VARIABILIDAD EN SUS PRODUCTOS.

1.2. Contexto de investigación

En esta sección, presentamos brevemente los principales conceptos que utilizamos a lo largo del resto de la tesis. Estos conceptos se engloban dentro de dos dominios de la ingeniería del software. Por un lado, presentamos las líneas de productos de software como área para la mejora de la producción de portafolio de productos software. Y por otro, abordamos los principales métodos empíricos utilizados en la ingeniería de software.

1.2.1. Ingeniería de líneas de productos de software

Las líneas de productos de software, conocidas en inglés como "software product lines" (SPLs), permiten gestionar la complejidad de crear artefactos o

componentes de software reutilizables, así como para describir sus puntos de variabilidad y asegurar que se reutilicen adecuadamente.

En este trabajo utilizamos el marco de trabajo presentado por Pohl y otros [172] para SPLE. En este marco se unen los conceptos de la ingeniería de líneas de productos tradicional, el uso de una plataforma común y la capacidad de ofrecer una personalización masiva.

Según la definición dada por Pohl y otros [172]: *“La ingeniería de línea de productos de software es un paradigma para desarrollar aplicaciones de software. Es decir, sistemas intensivos en software y productos de software utilizando plataformas y personalización masiva”*.

Las SPLs se han convertido en un nuevo paradigma de desarrollo de software de gran importancia [110] y representa un nuevo área que propone a la industria del software múltiples beneficios: incremento de la reutilización [181] y mejora de la calidad, productividad y eficiencia, reducción de los costes y tiempos de desarrollo por producto, lo que también resulta en mayores márgenes de ganancia [63].

Otros autores afirman que una *“línea de productos de software (SPL) es un conjunto de sistemas de alta variabilidad que comparten un conjunto común manejable de características que satisfacen las necesidades específicas de un segmento de mercado en particular”* [69, 99, 110, 181]. La ingeniería se fundamenta en familias de sistemas para generar sistemas similares en lugar de producir sistemas individuales [77].

A continuación se destaca algunas conceptualizaciones que son implícitas del paradigma SPLE.

Plataforma software. Según Pohl y otros [172] **“una plataforma es cualquier base de tecnologías sobre la que se construyen otras tecnologías o procesos”**. Los subsistemas pertenecientes a una plataforma de software no sólo abarcan el código, sino también los requisitos, diseño, la arquitectura, prueba y otros artefactos del proceso de desarrollo. Crear una plataforma común permite prepararse para la *personalización en masa* [172]. Un aspecto importante a considerar es la flexibilidad de los componentes. Es decir, los componentes utilizados en los diferentes productos tienen que ser lo suficientemente adaptables o configurables para ser aceptados en los diferentes sistemas producidos, para proveer a los clientes de productos individualizados con base a sus necesidades. La flexibilidad viene acompañada de una serie de limitaciones. A esta flexibilidad se le denomina *variabilidad* en el contexto de la ingeniería de software [83].

Variabilidad. La variabilidad es la propiedad que poseen los componentes

de una plataforma para ser lo suficientemente adaptables o configurables para ser aceptados en los diferentes sistemas producidos y proveer a los clientes de productos individualizados en base a sus necesidades. La gestión de la variabilidad produce beneficios importantes sobre la forma en que se desarrolla, amplía y mantiene el software. Esta gestión permite la posibilidad de cambiar y adaptar un producto software para que se ajuste a necesidades específicas.

El marco de trabajo propuesto por Pohl y otros [172] separa en dos procesos el paradigma de la ingeniería de la línea de productos de software para mejorar el control de la variabilidad. Estos dos procesos se conocen como ingeniería de dominio e ingeniería de aplicaciones.

Ingeniería de dominio. De acuerdo a Pohl y otros [172], este proceso del marco de SPLE es el que formalmente establece la plataforma reutilizable. Se encarga de definir la similitud y la variabilidad de la línea de productos. Además, se encarga de establecer los vínculos de trazabilidad entre los artefactos facilitando la reutilización planificada. En la Sección §2.4 se revisa en más detalle este proceso.

Ingeniería de aplicaciones. Este proceso del marco de SPLE se encarga de derivar aplicaciones de línea de productos a partir de la plataforma establecida en la ingeniería de dominio explotando la variabilidad de la línea de productos (SPL) y asegura la correcta vinculación de la variabilidad conforme las necesidades específicas de las aplicaciones. En la Sección §2.5 se revisa en más detalle este proceso.

1.2.2. Paradigma de estudio basado en la evidencia para conocer las prácticas de ingeniería del software

Kitchenham y otros [143] proponen en 2004 un paradigma de estudio basado en la evidencia para conocer las prácticas de ingeniería del software. Además, se aceptó la idea que los estudios empíricos individuales, a menudo, no son concluyentes y que tales estudios son difíciles de replicar con éxito [131, 191]. También proponen [143] un proceso en 5 pasos para adaptar las prácticas basadas en evidencia en la ingeniería del software:

1. Traducir la necesidad de información en una pregunta de investigación.
2. Encontrar la mejor evidencia para responder la pregunta.
3. Valorar críticamente la evidencia por su validez, impacto y aplicabilidad.
4. Unir la evaluación crítica con la experiencia en ingeniería de software.

5. Evaluar la competencia y la eficiencia en los pasos anteriores 1–4, y buscar formas de mejorarlos.

Los primeros tres pasos engloban el desarrollo de una revisión sistemática. El cuarto paso se realiza para la traducción del conocimiento; es decir, la evidencia sirve para sustenta el conocimiento y, por lo general, derivar nuevos conocimientos. Con el quinto paso se evalúa que los procedimientos de investigación sean validos y se analiza como mejorarlos.

Revisiones sistemáticas de la literatura. Las revisiones sistemáticas de la literatura, conocida en inglés como “*systematic literature review*” (SLR), son un método para identificar investigaciones relevantes, métodos y lagunas en la investigación existente. A las revisiones sistemáticas de la literatura se las considera estudios secundarios, porque generan sus resultados agregando el material de un conjunto de estudios primarios analizados [149].

1.2.3. Métodos empíricos en ingeniería del software

Desde mediados de la década de 1990 se ha evidenciado el interés en los investigadores por el uso de estudios empíricos para evaluar las praxis de ingeniería del software. Según Basili y otros [72], “*las debilidades y los beneficios de las tecnologías se pueden identificar a través de estudios empíricos*”. Esto puede explicar por qué la ingeniería de software y, más concretamente, la SPLE, ha comenzado a enfatizar los métodos de investigación empíricos para mejorar la validez y generalización de los resultados de investigación [74, 200, 209, 213].

Existen varios métodos empíricos para la investigación científica. Es tarea del investigador seleccionar el método adecuado para satisfacer o abordar una pregunta de investigación. Los dos factores claves a considerar para escoger el método idóneo son: determinar la profundidad del conocimiento requerido e identificar el grado de generalidad necesario para ese conocimiento [149]. Los principales métodos utilizados en ingeniería de software se definen a continuación y se detallan en el Capítulo 3. A continuación revisamos algunos de acuerdo a [149].

Experimentos controlados y cuasi-experimentos. Son utilizados para responder preguntas de investigación muy específicas, con frecuencia de naturaleza comparativa. Sin embargo, para los experimentos centrados en el ser humano, la profundidad con la que se pueden abordar los problemas en torno a una pregunta de investigación es limitada.

Estudios de caso. Los estudios de casos permiten un escrutinio más profundo de un problema y pueden sostenerse durante períodos de tiempo largos. Sin embargo, el tiempo y dedicación invertido en cada estudio de caso hace que sea poco práctico realizar un gran número de estudios, lo que provoca que los resultados adolezcan de generalidad.

Encuestas. El uso de una encuesta hace posible responder ciertos tipos de preguntas de investigación. Sin embargo, obtener una muestra lo suficientemente grande de encuestados suele dificultar la exploración de los problemas en profundidad.

1.3. Método de investigación

En los inicios de este trabajo realizamos una SLR para descubrir en la etapa inicial de nuestro trabajo las brechas de investigación existentes en el dominio de ingeniería empírica en líneas de productos software, empleando síntesis en el análisis de los datos de los estudios primarios analizados. En el Capítulo §5 se presentan los resultados de esta SLR. Para realizar esta contribución se fundamentó en las pautas presentadas por Kitchenham [134, 136, 149] para realizar revisiones bibliográficas sistemáticas en ingeniería de software. Estas pautas se dividen en tres fases principales: planificación, realización e informe de la revisión.

Con base en los resultados de la primera contribución, se planteó la necesidad de conocer en qué medida las empresas están aplicando enfoques SPL en contextos industriales, para ello se planteó utilizar un estudio de caso como método empírico, presentado en el Capítulo §6. Para el diseño se siguió la metodología descrita por Runeson [180], detallada en la Subsección §3.4.1.

Como segunda contribución de este tesis se presentó el protocolo del diseño del estudio de caso que fue puesto a disposición de la comunidad. El protocolo se validó con la aplicación del diseño en una empresa ecuatoriana.

Considerando que los métodos empíricos suelen ser complementarios, para obtener más fuentes de información se decidió emplear otro método empírico: la encuesta. La tercera contribución, que se detalla en el Capítulo §7, busca generalizar hallazgos con una cantidad de datos representativa.

El desarrollo de la encuesta se fundamentó en [140–142, 146, 147, 170]. Estas metodologías explican como preparar, realizar y analizar una encuesta en ingeniería de software basadas en cuestionarios. Para la aplicación de la encuesta se siguieron los siguientes pasos: definición, diseño, implementación,

ejecución, análisis y presentación de resultados de la encuesta.

1.4. Contribuciones

En este apartado resumimos las principales aportaciones de el trabajo presentado en la tesis.

1.4.1. Resumen de contribuciones

En esta tesis abordamos el campo de investigación relacionada con las líneas de productos de software para validar metodologías de ingeniería del dominio para líneas de producto Software (SPL). En particular se investigó las evidencias empíricas en líneas de productos software y la gestión de la variabilidad en empresas de desarrollo de software.

A continuación, se resumen las principales contribuciones de esta tesis junto al objetivo que se persiguió en cada una de ellas:

i) Estudios empíricos en líneas de productos de software

- *Planteamiento del problema:* Los estudios empíricos se han convertido en un elemento fundamental de la investigación y práctica de la ingeniería de software, en los últimos años se ha evidenciado un crecimiento importante en la literatura sobre estudios empíricos en líneas de productos software. Sin embargo la falta de estudios que sintetice y evalúe la calidad de los estudios empíricos reportados en SPLE, provoca el desconocimiento de datos sobre experiencias de otros investigadores en evidencias empíricas del área.
- *Contribución:*
 - Se descubrió y resumió el estado actual de los estudios que han utilizado evidencia empírica en SPLE con intervención humana. El estudio se fundamentó en las pautas para realizar revisiones bibliográficas sistemáticas en ingeniería de software presentadas por [134, 136, 149].
 - se evaluó la madurez de los métodos de los estudios primarios para resaltar las limitaciones y fortalezas. La madurez de los experimentos se analizó según las directrices de Wohlin y otros [210] y, la de los casos de estudio, con las de Runeson y otros [180] y Robson [177].

- Se mostró la evolución de estos estudios a lo largo del tiempo, los temas de investigación abordados, de ¿dónde? y ¿quiénes son los autores y las instituciones que investigan en estos temas?.
 - Se presentó las brechas de investigación y se destacó áreas críticas que requieren más estudio.
- *Desafíos:* Para abordar los desafíos identificados, el estudio definió las siguientes preguntas de investigación.
- **¿Existen estudios empíricos sobre el SPLE con intervención humana?**
 - **¿Cuál es la calidad de los estudios empíricos reportados en SPLE?**
 - **¿En qué contexto se realiza la investigación empírica?**

La contribución pretende ayudar a la comunidad a encontrar las brechas de investigación existentes. Identificar estas brechas puede servir de guía a los investigadores sobre la falta de estudios empíricos en determinadas áreas, motivándolos a atender esas áreas incidiendo positivamente para enriquecer el framework SPLE, descrito en el Capítulo §2. En el Capítulo §5 se describen los detalles de la contribución.

ii) **Gestión de la variabilidad en empresas de productos software: estudio de caso**

- *Planteamiento del problema:* No existen estudios reportados en la literatura que evidencien como las empresas que no han implementado el paradigma de SPLE gestionan la variabilidad en el desarrollo de sus productos.
- *Contribución:*
- Presentamos el diseño de un estudio de caso que busca conocer cómo las empresas que no han implementado SPLE manejan la variabilidad en sus productos. Para el diseño seguimos las guías establecidas por Runeson [179]. Cabe destacar que el alcance del estudio contempla tres unidades de análisis: gestión de producto, ingeniería de requisitos de dominio e ingeniería de requisito de aplicación.
 - Se ejecutó el diseño del estudio de caso en una empresa ecuatoriana, de esta manera se validó el protocolo del diseño del estudio de caso de manera preliminar.
 - Se analizaron los datos preliminares de la ejecución del estudio de caso y se informó sobre los hallazgos encontrados dando a conocer las prácticas de gestión de variabilidad que esta empresa realiza

para el desarrollo de sus productos, abordando las tres unidades de análisis del diseño del estudio de caso.

- *Desafíos:* Para abordar los desafíos identificados, el estudio definió las siguientes preguntas de investigación, se consideró a empresas que no conocen de SPL, *Companies which do Not Know about Software Product Line concepts (CNKSPL)*; es decir, aquellas empresas que gestionan una familia de sistemas sin conocer técnicas de líneas de productos software.
 - **¿Cómo gestionan las CNKSPL la variabilidad a nivel de gestión de productos?**
 - **¿Cómo gestionan las CNKSPL la variabilidad en el nivel de la ingeniería de requisitos de dominio?**
 - **¿Cómo gestionan las CNKSPL la variabilidad a nivel de ingeniería de requisitos de aplicación?**

La contribución presentada permitirá realizar una evaluación empírica mostrando cómo las empresas que desconocen del paradigma de línea de productos de software gestionan la variabilidad de sus productos. Los resultados que se obtuvieron de la aplicación del diseño permitieron señalar los puntos fuertes y débiles de los enfoques de las empresas donde se efectuó dicho estudio de caso, para generalizar los hallazgos encontrados se necesita de réplicas que usen exactamente el mismo protocolo de estudio de caso. Ver Capítulo §6 para más detalles sobre esta contribución.

iii) **Gestión de la variabilidad en empresas de productos software: encuesta**

- *Planteamiento del problema:* El problema abordado en esta contribución es el mismo de la contribución anterior. Es decir, no existen estudios reportados en la literatura que evidencien como las empresas que no han implementado el paradigma de SPLE gestionan la variabilidad en el desarrollo de sus productos.

En [92] se presentaron los resultados preliminares del estudio de caso aplicado en una empresa ecuatoriana que buscaba satisfacer la problemática, debido a que los resultados de un solo estudio de caso no poseen la robustez para generalizar hallazgos se recomendó realizar réplicas del estudio de caso. Aparte se consideró realizar otro estudio empírico que permita obtener mas datos mediante una encuesta. Este tipo de

estudios empíricos, de acuerdo a Kitchenham y otros [143] permite obtener más fuentes de información que permiten tomar decisiones en ingeniería de software más informadas. Es complementario al estudio de caso.

– *Contribución:*

- Presentamos el diseño de una encuesta que busca conocer cómo las empresas manejan la variabilidad en sus productos. Para el diseño seguimos las guías establecidas por [136, 140–142, 146, 147, 149, 170]. Cabe destacar que el alcance del estudio contempla tres unidades de análisis: gestión de producto, ingeniería de requisitos de dominio e ingeniería de requisito de aplicación con relación al marco SPLE.
- Se aplicó la encuesta en empresas de desarrollo de software principalmente en España
- Se tabuló y analizó los datos obtenidos de la aplicación de la encuesta, luego se informó y generalizó hallazgos encontrados sobre como las empresas gestionan la variabilidad en los productos que desarrollan.

– *Desafíos:* Para abordar los desafíos identificados, el estudio definió la siguiente pregunta de investigación.

¿Existe relación entre la oferta de productos similares o personalizables y el empleo de mecanismos de gestión de variabilidad?

La contribución presentada permitió indagar en varias empresas a través de la aplicación de una encuesta sobre las prácticas que realizan para la adaptación/personalización de sus productos es decir se buscó conocer si en la cartera de productos existen adaptaciones y estrategias que permitan reutilizar esfuerzos gestionando variabilidad compartiendo características comunes, variables y específicas a una aplicación. En el Capítulo §7 se describen los detalles sobre esta contribución.

1.4.2. Publicaciones en orden cronológico

La investigación ha presentado resultados en diferentes congresos y revistas. La Figura §1.1 muestra una lista completa de publicaciones en orden cronológico.

[2017] En este año, se realizó la búsqueda de información para la realización de la contribución [94]. Tras esta revisión, se evidenció que no existían

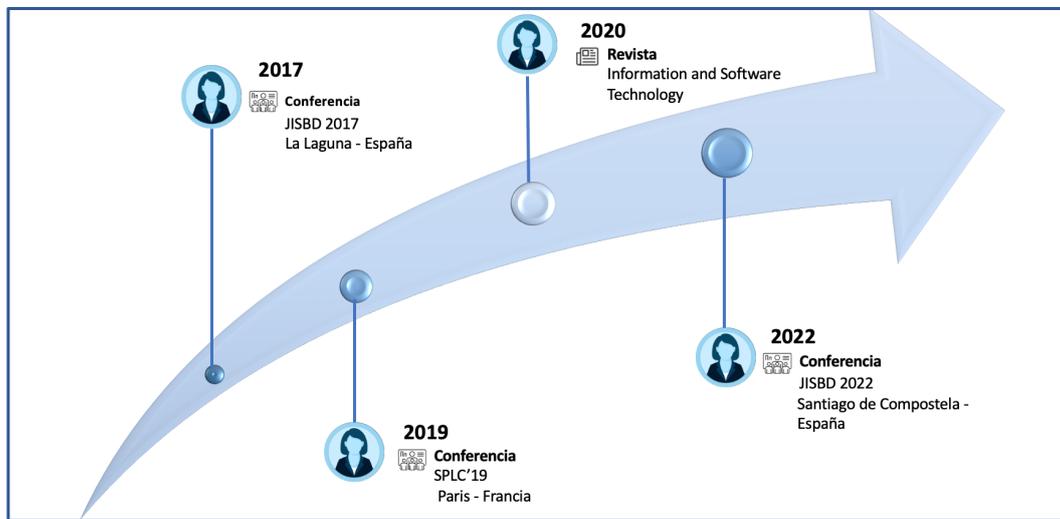


Figura 1.1: Orden cronológico de conferencias y publicaciones

evidencias empíricas que demuestren como las empresas de desarrollo de software gestionan la variabilidad de sus productos. Por ello se trabajó en un diseño de estudio de caso que ayude a descubrir como realizan las empresas la gestión de la variabilidad. Este trabajo se encuentra publicado en la siguiente conferencia:

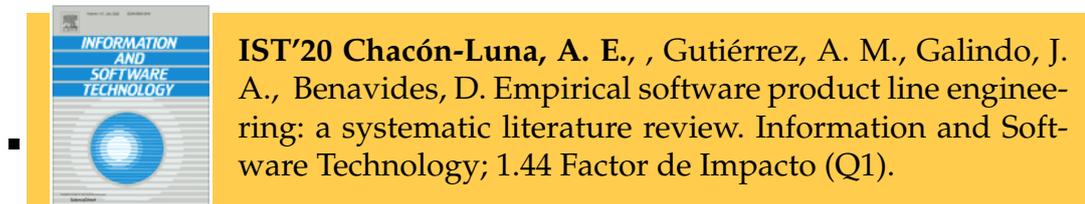
- **JISBD 2017** Chacón Luna, A.E., Galindo Duarte, J.Á. y Benavides Cuevas, D. Cómo gestionan la variabilidad las empresas que no conocen de líneas de producto software: hacia una evaluación real. En JISBD 2017: XXII Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos La Laguna, Tenerife: Asociación de Ingeniería del Software y Tecnologías de Desarrollo de Software (SISTEDES).

[2019] Se trabajó en la validación del diseño del estudio de caso publicado en el 2017 y se obtuvieron datos de la aplicación del estudio de caso en una empresa ecuatoriana. Con el estudio de este caso, se realizaron ciertos ajustes al diseño del estudio inicial. Esta modificación junto con los resultados preliminares de su aplicación se presentaron en la siguiente conferencia:

- **SPLC '19** Ana E. Chacón-Luna, Elvira G. Ruiz, José A. Galindo, and David Benavides. Variability Management in a Software Product Line Unaware Company: Towards a Real Evaluation. In Proceedings of the

23rd International Systems and Software Product Line Conference - Volume B (SPLC '19). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 82–89

[2020] En este año, se publicó una revisión sistemática de la literatura utilizando evidencia empírica en SPlE con la intervención de personas. Esta contribución tenía como uno de sus objetivos evaluar la madurez de los métodos de los estudios primarios para resaltar las limitaciones y fortalezas. Hay que resaltar que aunque la contribución no se publica hasta 2020, el análisis de la literatura se realizó al inicio de esta tesis.



[2022] Se propone el diseño de una encuesta que se aplicó a empresas de desarrollo de software para conocer cómo gestionan la variabilidad de sus productos. Este diseño se envía a la conferencia que se describe a continuación:

- **JISBD 2022 Chacón Luna, A.E., ,Gutiérrez, A. M.,L Fuentes-Fernández y Benavides Cuevas, D.F.** Análisis de la gestión de variabilidad en la empresa. En *JISBD 2022: XXVII Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos*. Santiago de Compostela , España: Asociación de Ingeniería del Software y Tecnologías de Desarrollo de Software (SISTEDES).

Sobre esta última contribución se está preparando un trabajo que será enviado a una revista antes de finales de año.

1.5. Estructura de la tesis

Este documento está organizado con la estructura siguiente:

Part I: Preliminares. En la primera parte de esta tesis se presenta este Capítulo §1, que aborda los antecedentes y motivación que han impulsado este trabajo, así como también las principales contribuciones.

Part II: Antecedentes. En la segunda parte de la tesis presentamos la información básica necesaria para entender el contexto de este trabajo. Se organiza en 2 capítulos. En el Capítulo §2, exploramos los conceptos relacionados con gestión de la variabilidad y líneas de productos de software. Luego, presentamos una revisión breve sobre los métodos empíricos más utilizados en Ingeniería de software en el Capítulo §3.

Part III: Contribuciones. Esta parte constituye el núcleo de la tesis. Consta de 4 capítulos y está organizada de la siguiente manera. En el Capítulo §4 se analizan las problemáticas encontradas, se analiza los estudios relacionados y el alcance de los mismos, se presenta la motivación para las contribuciones realizadas en la tesis. En el Capítulo §5 se presenta una revisión sistemática de la literatura que sintetiza los estudios que han utilizado evidencias en SPLE con intervención de humanos entre 2000 y 2018. En el Capítulo §6 se presenta la contribución del protocolo del diseño de un estudio de caso que permite conocer cómo las empresas realizan la gestión de la variabilidad cuando no conocen las líneas de productos de software. En el Capítulo §7 se presenta la realización de una encuesta que permite conocer cómo las empresas realizan la gestión de la variabilidad en sus productos.

Part IV: Comentarios Finales. En esta parte, se detallan las conclusiones de la investigación realizada y se proponen trabajos futuros para abordar las brechas de investigación que se encontraron durante la realización de esta tesis.

Part V: Apéndices. En esta parte, se incluyen anexos que facilitan la comprensión de los capítulos previos. En el Apéndice §A se muestra la cadena de búsqueda y las tablas que se utilizaron para la extracción de datos de los estudios primarios y las características que debe tener un informe de una SLR. En el Apéndice §C se incluye el cuestionario utilizado en el estudio presentado en el Capítulo §7. En el Apéndice §B se muestra la bibliografía de los estudios primarios empleados en el Capítulo §5.

Parte II

ANTECEDENTES

Capítulo 2

Líneas de productos de software (SPL)

Acércate más que nunca a tus clientes. Tan cerca, de hecho, que puedas decirles que necesitan antes de que lo sepan por si mismos.

Steve Jobs

Una línea de productos de software (SPL) se determina como un conjunto de sistemas de alta variabilidad que comparten un grupo de características comunes que pueden personalizarse según las necesidades específicas de las partes interesadas en un contexto particular. La aplicación del paradigma SPL permite ahorrar costos y tiempo de desarrollo y al mismo tiempo aumenta la calidad del software gestionando la variabilidad de una línea de productos de software. Se analiza la similitud y variabilidad en el proceso de ingeniería de dominio para permitir una reutilización proactiva en el desarrollo de software explotando la variabilidad en el proceso de ingeniería de aplicación. En este capítulo se describe el paradigma de ingeniería de líneas de productos de software, así como la variabilidad de los sistemas.

En concreto, en la Sección §2.1 se presenta de forma general la evolución que ha tenido la SPLE, la Sección §2.2 describe el contexto, beneficios, requisitos para la ingeniería de línea de productos de software. La Sección §2.3 presenta el marco de trabajo presentado por Pohl y otros [172] y que fundamenta esta tesis. En la Sección §2.4 aborda los subprocesos de la ingeniería del dominio. La Sección §2.5 trata los subprocesos de la ingeniería de aplicación. La Sección §2.6 presenta la variabilidad en la gestión de líneas de productos software. Por último, en la Sección §2.7 se presenta un resumen de este capítulo.

2.1. Introducción

La forma en que los productos son elaborados ha cambiado significativamente con el paso del tiempo. Antes de los años 80 los productos eran contruidos de forma artesanal y para un número determinado de clientes. Sin embargo, el número de clientes se incrementó considerablemente y con ello también sus necesidades, ya que de un mismo producto existente fue necesario crear varios tipos para poder cubrir estas necesidades. Es por ello que, dentro de la industria automovilística, la empresa Ford fue la primera en crear lo que se conoce como *producción en línea*, lo que le permitió producir para un mercado en masa de forma mas económica comparado con la creación de productos individuales de forma artesanal [155].

Los clientes consumieron productos estandarizados y producidos en masa; sin embargo, las necesidades individuales de cada cliente son diferentes entre sí; por ejemplo, ciertos clientes necesitaban coches para utilizarlos en viajes de una sola persona y otros para familias numerosas, algunos están destinados para paseos dentro de la ciudad y otros para caminos pedregosos; de este modo, la necesidad de los clientes era diferente. Por ello, la industria se vio obligada a atender a producir en masa buscando atender las necesidades individuales. Esto fue el comienzo de lo que se conoce como *personalización en masa*, que consiste en producción a larga escala de productos a la medida que satisfagan los requerimientos de los clientes [107].

Tanto para los clientes como para las empresas, la personalización en masa que busca individualizar un producto genera efectos negativos. En el caso de los clientes, la personalización masiva significa la posibilidad de tener un producto individualizado pero a un costo mucho más elevado que uno producido en masa. Para la empresa, la personalización masiva significa tener que realizar inversiones tecnológicas mayores, lo que conduce a precios más altos para los productos individualizados y/o a márgenes de utilidad más bajos para la empresa [106, 214].

De forma general, tanto los productos individuales como los producidos en masa pueden relacionarse dentro del dominio de software con: *software a medida* y *software genérico*, respectivamente. Cada uno de ellos tiene sus ventajas e inconvenientes. Por un lado, el software a medida es mucho más costoso que el genérico. Por otro, el software genérico carece de diversificación con relación al software a medida [121, 192].

Para la producción en masa personalizada que buscaba individualizar los productos en la industria automovilística fue necesario planificar y establecer que componentes servirían de base para cualquier modelo de coche, para

luego agregarle los componentes particulares de acuerdo a los requerimientos específicos para satisfacer a cada cliente. El conjunto de componentes bases se los conoce como *plataformas comunes*. El uso de estas plataformas en diferentes tipos de coches provocó que el costo de producción sea menor para un modelo particular, permitiéndoles a la industria automovilística ofrecer una mayor variedad de productos a menor coste.[207].

Así, la personalización en masa combinada con el uso de plataformas permite que una tecnología base pueda ser reutilizada. También es importante considerar la flexibilidad de los componentes; es decir, los componentes utilizados en los diferentes productos tienen que ser lo suficientemente adaptables o configurables para ser aceptados en los diferentes sistemas producidos, para proveer a los clientes de productos individualizados con base a sus necesidades. La flexibilidad viene acompañada de una serie de limitaciones, a esta flexibilidad se le denomina *variabilidad* en el contexto de la Ingeniería de Software [83].

2.1.1. Plataforma software

En la industria del software el término plataforma es a menudo usado para denotar al sistema subyacente en el cual las aplicaciones se ejecutan. Se puede referir al hardware usado, o, más a menudo, a la combinación de hardware y sistema operativo. Aunque la interpretación anterior del término plataforma es bastante común en la ingeniería de software, no refleja lo que constituye una plataforma en la ingeniería de línea de productos de software. Este tipo de plataforma se refiere a un producto completo de componentes software reutilizables. En otras palabras, *“una plataforma software es un conjunto de subsistemas software e interfaces que forman una estructura común de la que se derivan productos que pueden ser desarrollados y producidos eficientemente”* [162].

También según Pohl y otros [172] *“una plataforma es cualquier base de tecnologías sobre la que se construyen otras tecnologías o procesos”*. Los subsistemas pertenecientes a una plataforma de software no sólo abarcan el código, sino también los requisitos, la arquitectura y otros artefactos del proceso de desarrollo.

Así, el concepto de plataforma es clave dentro de la industria del software. Ante la necesidad de una producción en masa, tener un conjunto de componentes comunes, que permitan la reutilización es clave. A este paradigma resultante para el desarrollo de software se lo conoce como ingeniería en línea de productos software [91, 172].

2.2. Ingeniería de línea de productos de software

Según la definición dada por Pohl y otros [172]: *“La ingeniería de línea de productos de software es un paradigma para desarrollar aplicaciones de software. Es decir, sistemas intensivos en software y productos de software utilizando plataformas y personalización masiva.”*

Se ha convertido en un nuevo paradigma de desarrollo de software de gran importancia [110] y representa un área nueva que ha proporcionado a la industria del software grandes beneficios: incremento de la reutilización [181], mejora de la calidad, productividad y eficiencia, y disminución de costes y tiempos de desarrollo por producto. Todo esto resulta en mayores márgenes de beneficio [63].

La reducción del tiempo y esfuerzo de personalización permite la comercialización masiva de los productos personalizados, con el fin de satisfacer las necesidades del cliente [122].

Otros autores afirman que una *“línea de productos de software es un conjunto de sistemas de alta variabilidad que comparten un conjunto común manejable de características que satisfacen las necesidades específicas de un segmento de mercado en particular”* [69, 99, 110, 181]. Este paradigma se fundamenta en familias de productos para generar sistemas similares en lugar de la producción de sistemas individuales [77].

2.2.1. Prerrequisitos para la adopción de líneas de productos de software

Varios motivos impidieron o retrasaron la entrada de la ingeniería de línea de productos en la ingeniería del software, como la falta de tecnología idónea, madurez del proceso y características y experiencias del dominio. Estos motivos se han superado en parte, pero puede aún ser complicado adoptar la ingeniería de línea de productos si no se hace responsablemente. Según Clements y Northrop [100] Para superar estas barreras, ciertos requisitos son necesarios previos a la adopción de la ingeniería de línea de productos de software.

Tecnologías de apoyo. Durante mucho tiempo, un importante obstáculo para la adopción de la ingeniería de líneas de productos de software fue la falta de tecnología idónea para aplicar los principios de la SPLE de forma fácil. Además, parte de la tecnología disponible no se utilizaba en la práctica. El desarrollo de esa tecnología habilitante apoyó la adopción de la ingeniería de

líneas de productos de software, como asegura Coplien y otros [103] “*muchas familias de software se expresan naturalmente mediante construcciones de lenguajes de programación existentes*”.

Las tecnologías implementadas corresponden a la ingeniería de software tradicional. Algunas tecnologías habilitantes son:

- La programación orientada a objetos, que implementa conceptos como la encapsulación y la ocultación de información, que facilitan la gestión de la variabilidad[194].
- La tecnología de componentes, que permite a los desarrolladores empaquetar el software como componentes poco acoplados para que se combinen en un sistema funcional en tiempo de ejecución [196].
- Las técnicas de vinculación tardía, especialmente la instalación y la vinculación dinámica en tiempo de ejecución, que permiten tomar decisiones de configuración tardías. Ésto permite que la variabilidad sea diseñada e implementada de manera uniforme sin preocuparse en el aspecto de las variantes actuales [187].
- La gestión de configuración es otro requisito importante para poder hacer frente a la complejidad de las grandes aplicaciones que se componen de muchas partes y diferentes versiones. Por lo tanto, es necesario contar con una gestión sofisticada de la configuración para tener éxito en la SPLE[101].

Madurez del proceso. Es importante destacar que la falta de madurez en la ingeniería de software puede afectar al éxito de la ingeniería de línea de productos de software, incluso de manera más relevante, que las cuestiones tecnológicas [198].

Durante algún tiempo, el desarrollo de software no estaba estructurado, apenas estaba bien definidos y era poco comprensible. La creciente aplicación de evaluaciones de procesos, tales como CMMI, permitieron mejorar estos procesos. Estos modelos de procesos contribuyen a identificar las debilidades en los procesos de desarrollo de software, impulsando de esta manera su mejora y fomentando el uso de sólidos principios de ingeniería en la práctica del software [88].

Otra causa es la inadecuada aplicación de una ingeniería de requisitos. Por lo tanto, una ingeniería de requisitos exhaustiva identifica lo común y lo variable dentro de los productos software. La abstracción en el desarrollo de software desempeña un papel fundamental para el manejo de la complejidad.

Características y experiencia del dominio. Otro requisito importante para la ingeniería de líneas de productos de software es la suficiente experiencia en el dominio. Sólo las personas que conocen sus mercados y/o clientes pueden identificar los puntos comunes y la variabilidad de forma adecuada para desarrollar plataformas y definir la variabilidad. La solidez del dominio es también un elemento importante para la implementación satisfactoria de la ingeniería de línea de productos software. Si todo cambia cada medio año de forma imprevisible, los costes de inversión nunca se amortizan. Esta situación es similar a no entender bien el dominio, se añade variabilidad que no se necesita y no se dispone de la variabilidad que realmente se necesita.

2.2.2. Beneficios de la adopción

Una idea clave en la ingeniería de la línea de productos de software es que la mayoría de los sistemas software no son nuevos. Más bien, los sistemas software dentro de un dominio de aplicación tienen muchos más aspectos comunes que únicos y la mayoría de las organizaciones construyen sistemas de software en un dominio particular, lanzando repetidamente variantes del producto tras añadirle nuevas características.

Los primeros enfoques de la reutilización del software se centraban en los aspectos tecnológicos de la reutilización de activos de software y ocasionalmente incluían algunos aspectos de proceso. El factor clave del éxito de las líneas de productos de software es que abordan los aspectos empresariales, de arquitectura, de proceso y organizativos para compartir eficazmente los activos de software dentro de una cartera de productos. Este modelo propuesto en [156], se lo conoce como el modelo BAPO, por sus siglas en inglés: *Business Architecture Process Organisation*.

De acuerdo a Clements y Northrop [100], Pohl y otros [172], son muchas las razones por las que la adopción del paradigma de línea de productos de software genera una ventaja para las organizaciones. A continuación se mencionan algunas más relevantes:

Costos de desarrollo más bajos. Una razón fundamental para introducir este paradigma de producción, ya que al existir plataformas que serán reutilizadas en diferentes productos software, implica que sus costos serán menores.

Mejora en la calidad. Cada uno de las plataformas serán revisadas y probadas en muchos tipos de productos, esto asegura una significativa mayor detección y posterior corrección de fallos, por lo que se incrementa la calidad en todos los productos.

Menor tiempo de comercialización. El tiempo de comercialización aplicando este paradigma será más elevado al principio, ya que las plataformas tendrán que ser creadas. Sin embargo, luego que éstas hayan sido creadas, podrán ser reutilizadas en cada nuevo producto, lo que hará que su tiempo de comercialización sea menor.

Mantenimiento con menor esfuerzo. En vista de que los artefactos comunes son reutilizados en diferentes productos, la corrección que se lleve a cabo sobre uno de ellos, podrá ser propagada en todos los productos en los que éste ha sido utilizado. Esto puede reducir los esfuerzos de mantenimiento. No obstante, esta propagación de cambios no evitará que los productos necesiten ser testeados.

Mejora en la estimación de costos. Muchas veces la comercialización está centrada en aquellos productos que fácilmente pueden producirse y se dejan de lado extensiones no cubiertas en las plataformas. Sin embargo, hay productos que sí requieren estas extensiones y son vendidos a precios más altos que aquellos que reutilizan artefactos. Así mismo, el cálculo de los precios de los productos realizados dentro de la producción en línea es relativamente sencilla y sin mayor riesgo. Es decir, la reutilización de plataformas proporcionan una base sólida para la estimación de costos.

Beneficio para los clientes. Los clientes tendrán productos adaptados a sus necesidades. Así, ya no tendrán que acostumbrarse a diferentes interfaces de usuario ni procedimientos de instalación distintos por cada nuevo producto. En consecuencia, se desarrollan paquetes de software para soportar interfaces de usuario y procedimientos de instalación comunes. El uso de estos paquetes contribuyó a la proliferación de la idea de las plataformas.

La estrategia para aplicar la ingeniería de líneas de productos software presentada por Pohl y otros [172] consiste en enfocarse en todo lo que es común para todos los productos software y determinar qué es lo diferente para desarrollar una plataforma. Esta plataforma podrá ser construidas desde cero u obtenerse de algún producto ya existente.

Uno de los atributos más importantes que tiene el software es la versatilidad, ya que permite modificarlo y adaptarlo a requisitos volátiles o a cambios en entornos operacionales. Así mismo, el software es fácilmente portable a diferentes tipos de hardware o plataformas software, y permite ser reutilizado en el desarrollo de aplicaciones similares. Esta versatilidad es una condición previa para la personalización en masa. Además, significa que se definen exactamente los puntos en los que los productos pueden diferenciarse para que tengan lo máximo en común.

La versatilidad que haya sido dada en las plataformas, permitirá que puedan reutilizarse en diferentes aplicaciones, proporcionando una personalización masiva. Para incorporar la versatilidad en el software, se han propuesto muchos principios y conceptos de ingeniería del software, tales como la ocultación de información, familias de programas, modularidad, patrones de diseño, entre otros. La incorporación de esta versatilidad requiere cierto esfuerzo.

Para la aplicación de estos principios es necesario conocer la homogeneidad y variabilidad de las líneas de productos. Así mismo, se requiere explorar el espacio en los productos y su evolución en el futuro, para luego organizar y codificar el conocimiento recopilado en un modelo [79, 91].

2.3. Marco de trabajo de las líneas de producto software

Un marco de trabajo para la práctica de la línea de productos de software es un documento que ayuda a la comunidad de software a sintetizar en una guía un amplio conjunto de patrones de prácticas de líneas de productos para ayudar en la adopción del paradigma de líneas de productos de software. Cada versión representa un intento incremental de capturar lo mas actual sobre las prácticas exitosas de la aplicación de las líneas de productos de software. los frameworks o marco de trabajo sintetizan información de estudios de organizaciones que han creado líneas de productos, a partir de colaboraciones directas en productos de software líneas con organizaciones de clientes y de profesionales líderes en líneas de productos de software.

Northrop y Clements propusieron un marco para la práctica de la línea de productos de software[165]. Por su parte Pohl, Böckle y Van Der Linden recopilaron en un libro "Ingeniería de línea de productos de software: fundamentos, principios y técnicas" y proponen un marco de trabajo.

Como ya se indicó anteriormente las líneas de productos de software podríamos señalarlo como un cambio de paradigma que trae consigo muchas ventajas, aunque también dificultades. De acuerdo a los casos de éxitos en la implementación de las líneas de producto que han sido reportados en la literatura, podríamos asegurar que con ninguna otra metodología/ paradigma se han visto mejoras tan significativas en el costo, la calidad, el tiempo de comercialización y la productividad de los desarrolladores, según se reporta en [202].

El concepto implícito en las líneas de productos software se puede definir de manera sencilla: construir una familia de productos relacionados mediante una reutilización planificada de activos software generales. Sin embargo la complejidad de la adaptación se genera al tratar de implementar el paradigma. Es decir los problemas surgen en los detalles, ya que la praxis exitosa de la línea de productos puede involucrar cambios organizacionales, cambio en los procesos y cambios tecnológicos.

Northrop y Clements [165] aseguran que no existe un conjunto correcto de prácticas para cada organización. Por lo tanto, no prescriben una metodología con un conjunto de prácticas específicas. Indican que el marco no es un modelo de madurez ni una guía de procesos.

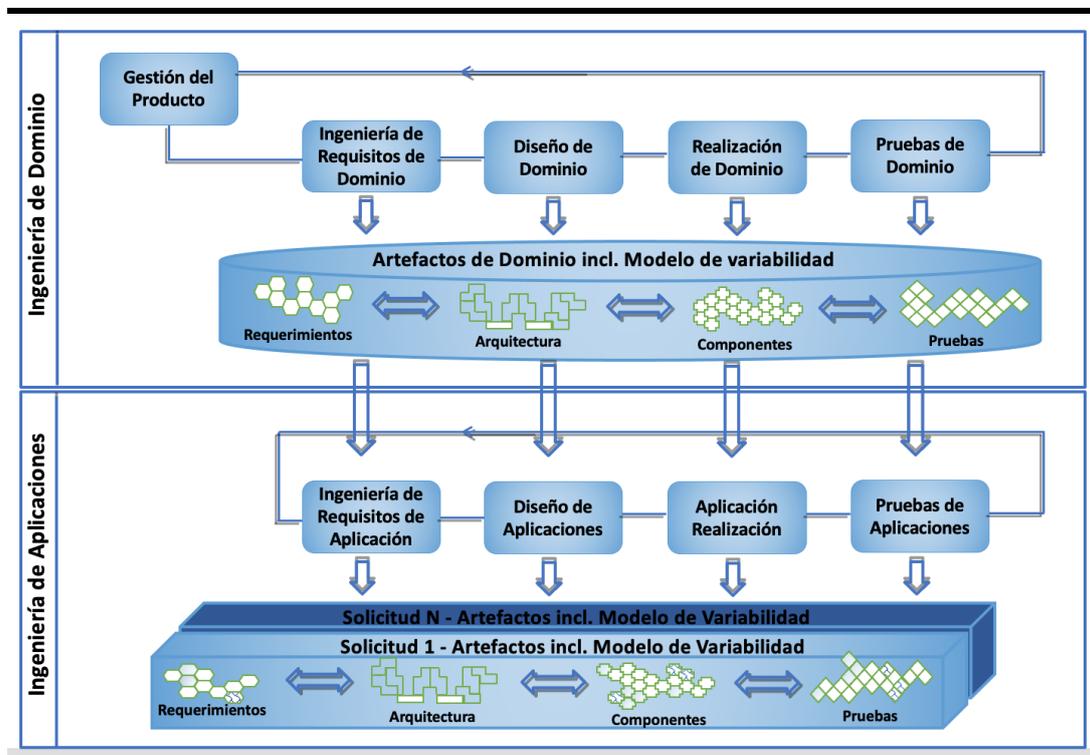


Figura 2.1: Marco de ingeniería de líneas de productos de software [172]

Pohl y otros [172] asegura que el marco de trabajo que proponen incorpora los conceptos originales de la ingeniería de líneas de productos tradicional, el uso de plataforma y la capacidad de ofrecer una personalización masiva. También separa en dos procesos el paradigma de la ingeniería de la línea de productos de software.

El trabajo de investigación realizado en esta tesis se fundamenta en el marco de trabajo propuesto por Pohl y otros [172]. Este marco de trabajo se ini-

ció en los proyectos ITEA, ESAPS, CAFÉ y FAMILIES [82, 201] y diferencia entre los procesos de ingeniería de dominio y de aplicación propuestos por Weiss y Lai [208].

En la Figura §2.1 se puede observar el proceso de ingeniería de dominio, que se encuentra representado en la parte superior de la Figura §2.1, se compone de cinco subprocesos: gestión de productos, ingeniería de requisitos de dominio, diseño de dominio, realización de dominio y pruebas de dominio.

El proceso de ingeniería de dominio produce la plataforma reutilizable, definiendo las características comunes y variables de la línea de productos y soporta la personalización masiva. La plataforma se compone de todos los artefactos de software, pudiendo ser artefactos de requisitos, diseño, realización, pruebas, etc.. Los vínculos de trazabilidad entre estos artefactos facilitan la reutilización sistemática y coherente.

En la parte inferior de la Figura §2.1 se puede observar el proceso de ingeniería de aplicación, se compone de cuatro subprocesos: ingeniería de requisitos de aplicación, diseño de aplicación, realización de aplicación y pruebas de aplicación.

El proceso de ingeniería de aplicaciones se encarga de derivar las aplicaciones de la línea de productos a partir de la plataforma establecida en la ingeniería de dominio; explotando la variabilidad de la línea de productos y garantizando la correcta vinculación de la variabilidad según las necesidades específicas de las aplicaciones.

2.4. Ingeniería del dominio

Los objetivos clave del proceso de ingeniería de dominios son: 1) Definir lo común y la variable de la línea de productos de software. 2) Definir el alcance, es decir identificar el conjunto de aplicaciones para las que está pronosticada satisfacer la línea de productos de software. 3) Establecer y crear componentes reutilizables que articulen la variabilidad deseada.

Los objetivos de la ingeniería de dominio se alcanzan mediante los subprocesos de ingeniería de dominio asegurando que se permita precisar la variabilidad determinada por el subproceso anterior.

2.4.1. Gestión de productos

La gestión de productos se encarga de la estrategia de mercado. Es decir, se encarga de la gestión de la cartera de productos de la empresa. Para cumplir con el propósito, la gestión de productos emplea técnicas de análisis del alcance "product line scoping" para definir lo que está y no está dentro del ámbito de la línea de productos.

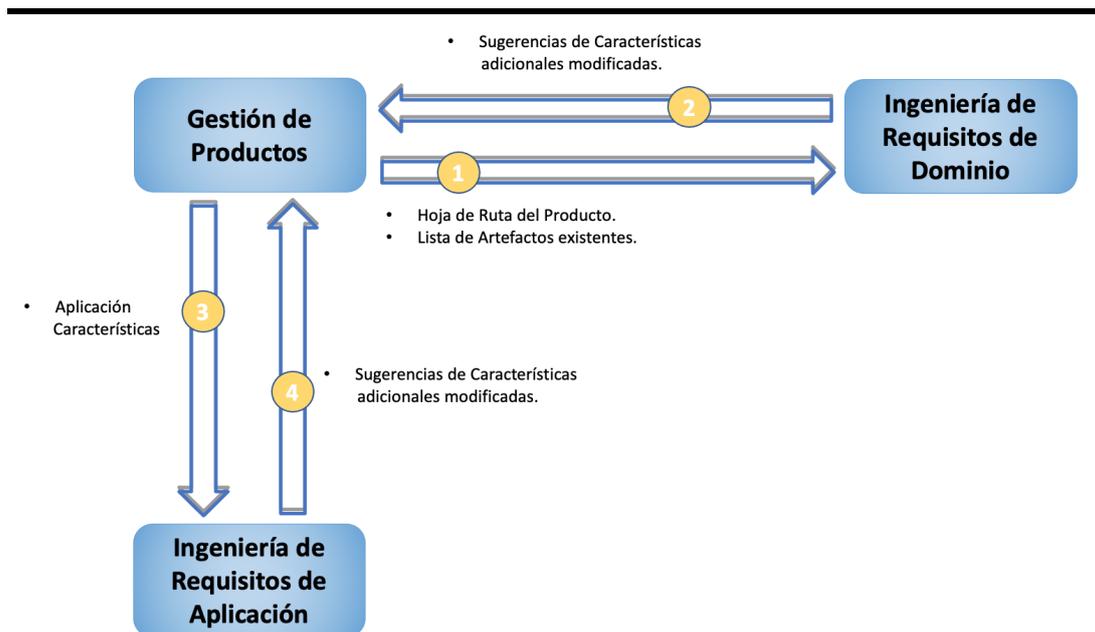


Figura 2.2: Flujo de información entre la gestión de producto y otros subprocesos [172]

En la Figura §2.2 se presenta el flujo de información entre la gestión de productos y otros subprocesos del marco de trabajo. La entrada de la gestión de productos consiste en los objetivos definidos por la empresa. Uno de los resultados de la gestión de productos es una hoja de ruta de productos que establece las primordiales características comunes y variables de los futuros productos. Otro artefacto de la gestión de producto es un calendario con las fechas planificadas de lanzamiento de los productos. Además, proporciona un listado de productos existentes y/o artefactos de desarrollo que pueden reutilizarse para establecer la plataforma.

La gestión de productos para líneas de productos de software se diferencia de gestión de productos para sistemas individuales por las siguientes razones:

- Uso de la plataforma, la misma que tiene un significado estratégico para

la empresa.

- La creación de multitud de variantes de productos a un coste razonable.
- Los productos de la cartera están estrechamente relacionados, debido a que se fundamentan en una plataforma común.
- Se considera la evolución de las necesidades del mercado, anticipándose a los posibles cambios en las características, limitaciones legales y normas para las futuras aplicaciones de la línea de productos de software.

2.4.2. Ingeniería de requisitos de dominio

El subproceso de ingeniería de requisitos del dominio comprende todas las actividades para conseguir y documentar los requisitos comunes y variables de la línea de productos.

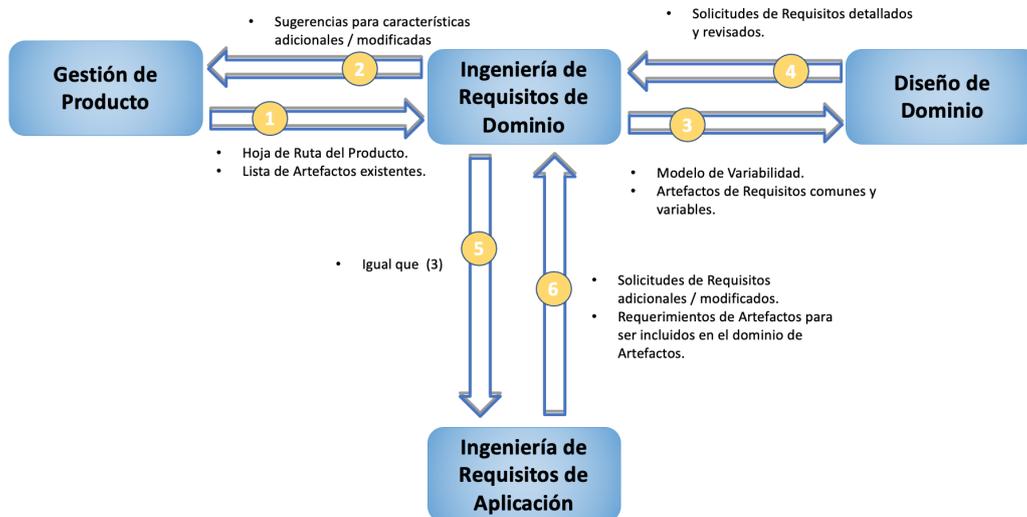


Figura 2.3: Flujo de información entre la ingeniería de requisitos de dominio y otros subprocesos [172]

La Figura 2.3 presenta el flujo de información entre la ingeniería de requisitos de dominio y otros subprocesos del marco de trabajo. La entrada de la ingeniería de requisitos de dominio consiste en la hoja de ruta del producto. Los resultados contemplan los requisitos comunes y variables para todas las aplicaciones previsibles de la línea de productos. Es decir, el modelo de variabilidad de la línea de productos.

La ingeniería de requisitos de dominio se diferencia de la ingeniería de requisitos para sistemas individuales porque:

- Se analizan los requisitos para determinar los que son comunes a todas las aplicaciones y los que son específicos para aplicaciones concretas.
- Las posibles opciones con respecto a los requisitos se documentan explícitamente en el modelo de variabilidad.
- Fundamentándose en la contribución de la gestión de productos, la ingeniería de requisitos de dominio anticipa los posibles cambios en los requisitos, leyes, normas, y cambios tecnológicos para satisfacer las necesidades del mercado de futuras aplicaciones.

Modelo de variabilidad del dominio. El modelo de variabilidad del dominio también conocido como "modelo de variabilidad ortogonal" define la variabilidad de la línea de productos de software. Más detalles ver Subsección §2.6.4.1 El modelo de variabilidad ortogonal permite:

- Definir lo que puede variar, introduciendo puntos de variación para la línea de productos.
- Determinar los tipos de variación que se ofrecen para un punto de variación concreto.
- Precisar las dependencias y las restricciones de variabilidad que deben tenerse en cuenta al originarse las aplicaciones de la línea de productos.
- Interrelacionar la variabilidad que existe en los distintos artefactos de desarrollo, de requisitos, de diseño, la variabilidad en los componentes y la variabilidad en los artefactos de prueba.

2.4.3. Diseño del dominio

El subproceso de diseño del dominio comprende las actividades que permiten definir la arquitectura de referencia de la línea de productos, proporcionando una estructura común para todas las aplicaciones de la línea de productos.

La Figura §2.4 presenta el flujo de información entre el diseño de dominio y otros subprocesos del marco de trabajo. La entrada de este subproceso consiste en los requisitos y el modelo de variabilidad ortogonal de la ingeniería de

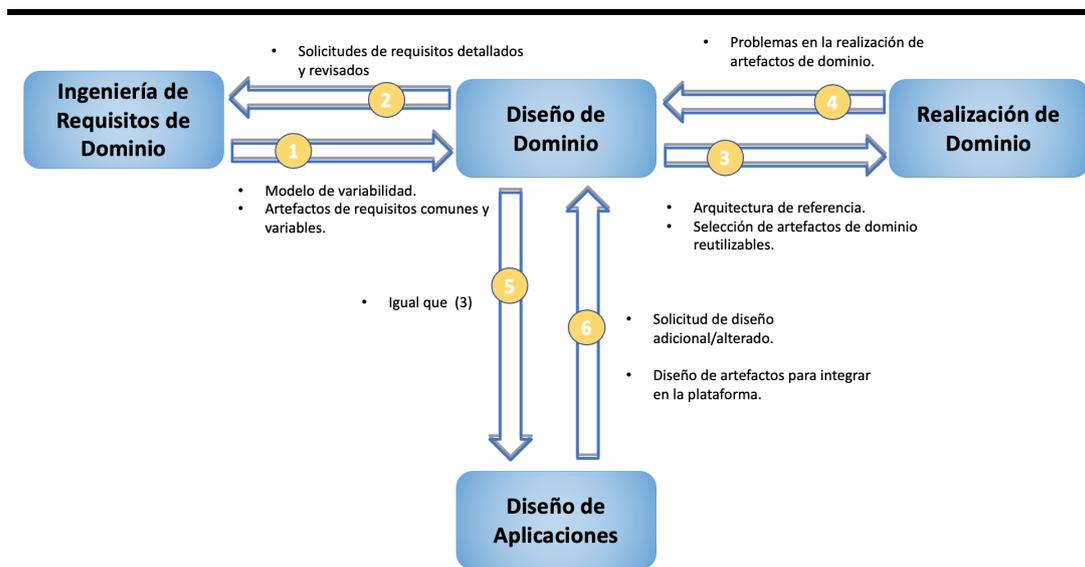


Figura 2.4: Flujo de información entre el diseño de dominio y otros subprocesos [172]

requisitos del dominio. El resultado comprende la arquitectura de referencia y un modelo de variabilidad fino que incluye variabilidad interna.

El diseño del dominio se diferencia del diseño de sistemas individuales porque:

- Incorpora opciones de adaptación en la arquitectura de referencia para sostener la variabilidad de la línea de productos.
- Considera la flexibilidad desde el inicio, para que la arquitectura de referencia pueda acoplarse a los requisitos de futuras aplicaciones.
- Define reglas comunes para el desarrollo de aplicaciones específicas basadas en la arquitectura de referencia.
- El diseño del dominio indica las partes reutilizables, así como las partes específicas de la aplicación, que se desarrollan y prueban en la ingeniería de la aplicación.

2.4.4. Realización del dominio

El subproceso de realización del dominio se ocupa del diseño y de la implementación de artefactos de software reutilizables.

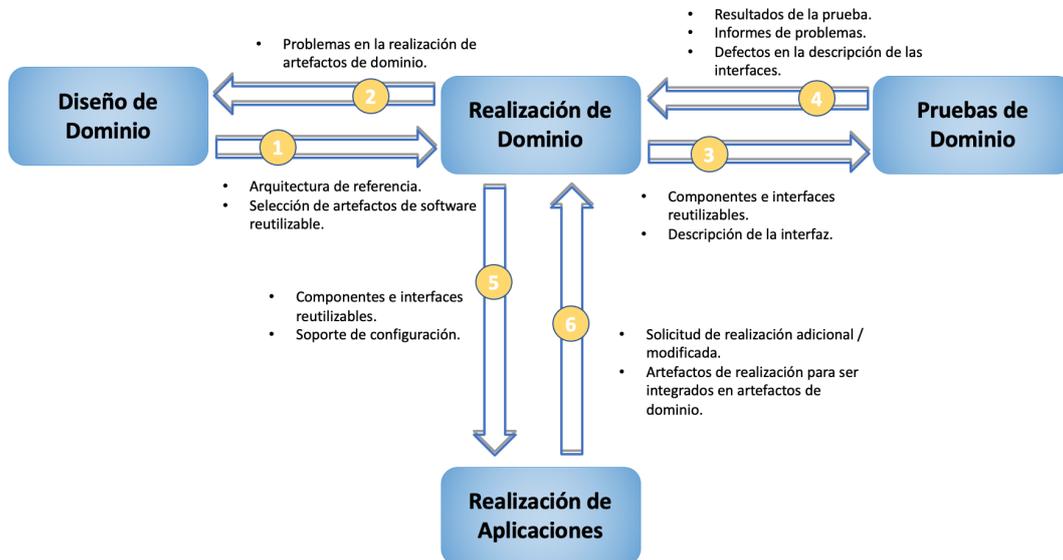


Figura 2.5: Flujo de información entre la realización de dominio y otros subprocesos [172]

La Figura 2.5 presenta el flujo de información entre la realización del dominio y otros subprocesos del marco de trabajo. Este subproceso tiene como punto de partida la arquitectura de referencia que comprende un catálogo de artefactos de software reutilizables que se desarrollarán en la realización del dominio. El resultado de este subproceso contempla el diseño especificado y los activos de implementación de los componentes de software reutilizables.

La realización del dominio se diferencia de la realización de sistemas individuales porque:

- Consta de componentes configurados y libremente acoplados, no en una aplicación en funcionamiento.
- Cada componente se planifica, diseña e implementa para su reutilización dando soporte a diferentes situaciones.
- Incluye mecanismos de adaptaciones en los componentes definidos por la arquitectura de referencia.

2.4.5. Pruebas del dominio

El objetivo de las pruebas del dominio es desarrollar artefactos de prueba reutilizables para reducir la dificultad de las pruebas de aplicaciones; por ello, las pruebas del dominio se encargan de la validación y verificación de los componentes reutilizables respecto a su especificación.

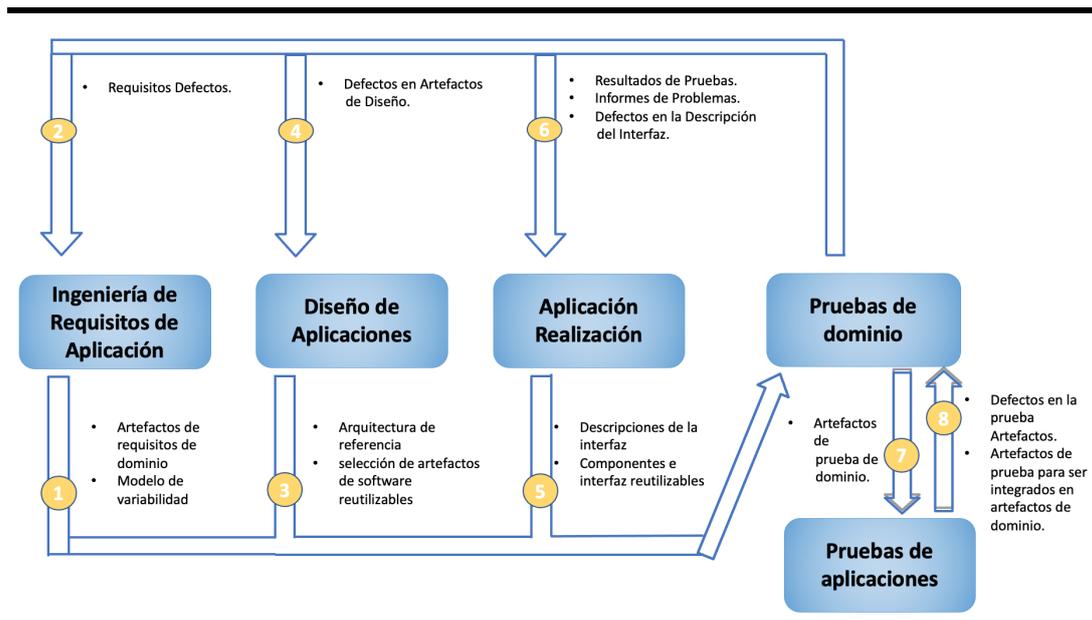


Figura 2.6: Flujo de información entre las pruebas de dominio y otros subprocesos [172]

La Figura §2.6 presenta el flujo de información entre las pruebas del dominio y otros subprocesos del marco de trabajo. La entrada para las pruebas del dominio comprende los requisitos del dominio, la arquitectura de referencia, los diseños de componentes e interfaces y los componentes reutilizables implementados. El resultado comprende los resultados de las pruebas realizadas en las pruebas de dominio, así como los artefactos de prueba reutilizables. Las pruebas del dominio se diferencian de las pruebas en la ingeniería de un solo sistema, porque:

- En las pruebas del dominio no hay ninguna aplicación en funcionamiento que se pueda probar, sólo se pueden probar componentes individuales y trozos integrados compuestos por partes comunes.
- Es posible crear una aplicación de prototipo, predefinir artefactos de prueba variables y aplicarlos en la prueba de la aplicación.

2.5. Ingeniería de aplicación

Los objetivos clave del proceso de ingeniería de aplicaciones son: 1) Lograr una reutilización efectiva de los activos del dominio al desarrollar una aplicación de la línea de productos. 2) Aprovechar los elementos comunes y la variabilidad de la línea de productos de software a lo largo del desarrollo de una aplicación. 3) Registrar los artefactos de la aplicación. 4) Evaluar el impacto de las diferenciación entre los requisitos de la aplicación y los componentes existentes en el dominio de la arquitectura y las pruebas.

El marco de trabajo introduce cuatro subprocesos de ingeniería de aplicaciones: 1) Ingeniería de requisitos de aplicaciones. 2) Diseño de aplicaciones. 3) Realización de aplicaciones. 4) Pruebas de aplicaciones. Cada uno de los subprocesos utiliza artefactos del dominio y produce artefactos de aplicación.

2.5.1. Ingeniería de requisitos de aplicación

La ingeniería de requisitos de aplicación engloba todas las actividades realizadas para especificar los requisitos de la aplicación y la cantidad de reutilización de artefactos del dominio. Uno de los propósitos de este subproceso es el descubrimiento de deltas entre los requisitos de las aplicaciones y las capacidades disponibles de la plataforma.

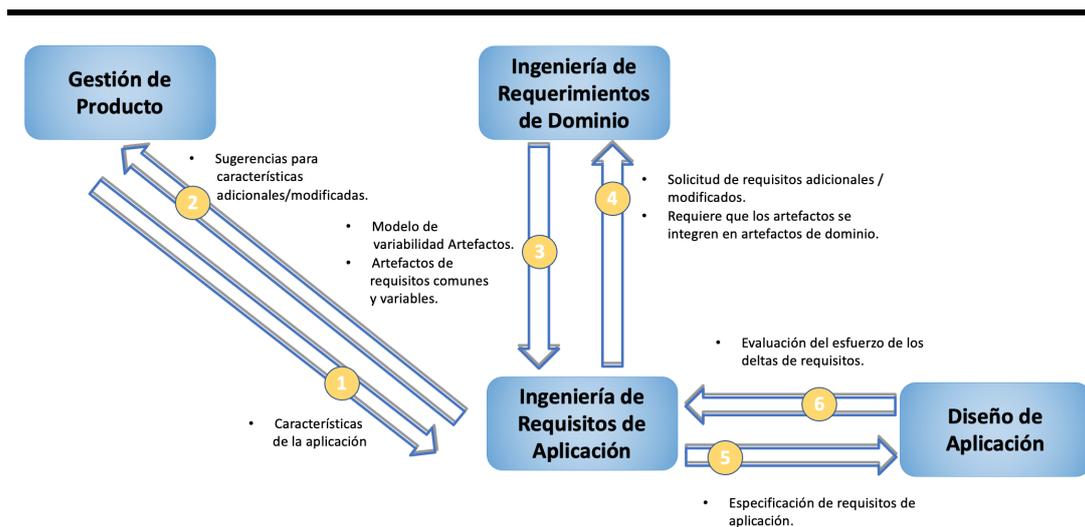


Figura 2.7: Flujo de información entre la ingeniería de requisitos de aplicación y otros subprocesos [172]

La Figura §2.7 presenta el flujo de información entre la ingeniería de requisitos de aplicación y otros subprocesos del marco de trabajo.

La entrada a este subproceso comprende los requisitos del dominio y la hoja de ruta del producto con las primordiales características de las aplicaciones. Además, pueden existir requisitos específicos. El resultado es el detalle de los requisitos para la aplicación en mención.

La ingeniería de requisitos de aplicaciones se distingue de la ingeniería de requisitos para sistemas individuales por las siguientes razones:

- La obtención de requisitos, resultan de la derivación de los requisitos del dominio.
- Deben encontrar los deltas entre los requisitos de la aplicación y los del dominio, evaluar en relación con el esfuerzo de adaptación necesario y documentarse adecuadamente para disminuir el esfuerzo de adaptación y aumentar la cantidad de reutilización de los artefactos del dominio.

2.5.2. Diseño de aplicación

El subproceso de diseño de aplicación contempla las actividades para producir la arquitectura de la aplicación utilizando la arquitectura de referencia. Selecciona y configura las partes necesarias de la arquitectura de referencia e incorpora adaptaciones específicas de la aplicación.

La Figura §2.8 presenta el flujo de información entre el diseño de aplicación y otros subprocesos del marco de trabajo.

La entrada para el diseño de la aplicación enmarca la arquitectura de referencia y la especificación de los requisitos de la aplicación. El resultado es la arquitectura de la aplicación en cuestión.

Se diferencia del diseño de sistemas individuales por las siguientes razones:

- No desarrolla la arquitectura de la aplicación desde cero, sino que la deriva de la arquitectura de referencia.
- El diseño de la aplicación debe cumplir las reglas definidas en la arquitectura de referencia y contempla la relación de la variabilidad. Asimismo, considera la incorporación de adaptaciones específicas de la aplicación.

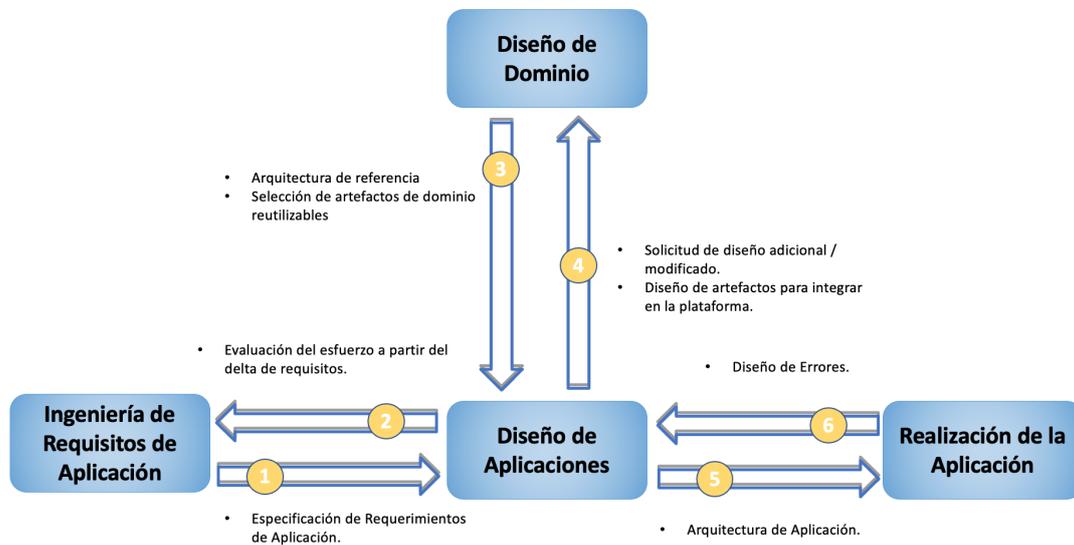


Figura 2.8: Flujo de información entre el diseño de aplicación y otros subprocesos [172]

- Debe evaluar el esfuerzo de realización de cada adaptación requerida pudiendo rechazar los cambios estructurales que requieran desarrollar la aplicación desde cero.

2.5.3. Realización de aplicación

El subproceso de realización de aplicación crea la aplicación mediante los activos reutilizables y específicos. La realización de la aplicación realiza la selección y configuración de componentes de software reutilizables y también se encarga de la realización de activos específicos de la aplicación.

La Figura §2.9 presenta el flujo de información entre la realización de aplicación y otros subprocesos del marco de trabajo.

La entrada consiste en la arquitectura de la aplicación y los artefactos de realización reutilizables de la plataforma. La salida consiste en una aplicación en funcionamiento junto con los artefactos de diseño.

La realización de aplicaciones es distinta de la realización de sistemas individuales porque:

- La mayoría de componentes, interfaces y otros activos de software se

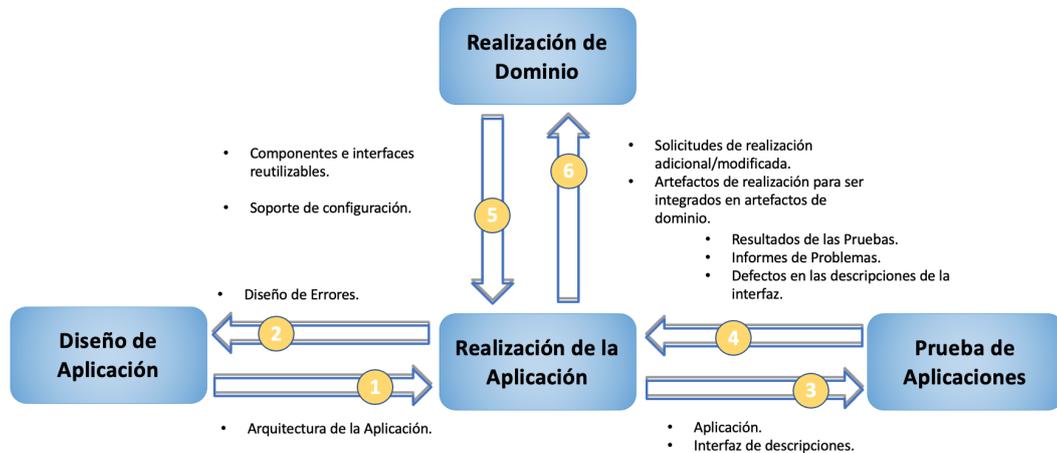


Figura 2.9: Flujo de información entre la realización de aplicación y otros subprocesos [172]

derivan de la plataforma mediante la vinculación de la variabilidad.

- Las realizaciones específicas de las aplicaciones deben ajustarse en la estructura global.

2.5.4. Pruebas de aplicación

El subproceso de pruebas de aplicaciones comprende las actividades para validar y comprobar una aplicación con respecto a su especificación.

La Figura §2.10 presenta el flujo de información entre la pruebas de aplicación y otros subprocesos del marco de trabajo.

La entrada para las pruebas de la aplicación comprende todo tipo de artefactos de prueba reutilizables proporcionados por las pruebas de dominio. El resultado es un informe de prueba con los resultados de todas las pruebas realizadas.

Las principales diferencias con respecto a las pruebas de un solo sistema son:

- Muchos artefactos de prueba no se crean de nuevo.
- Las pruebas de aplicación realizan pruebas adicionales para detectar

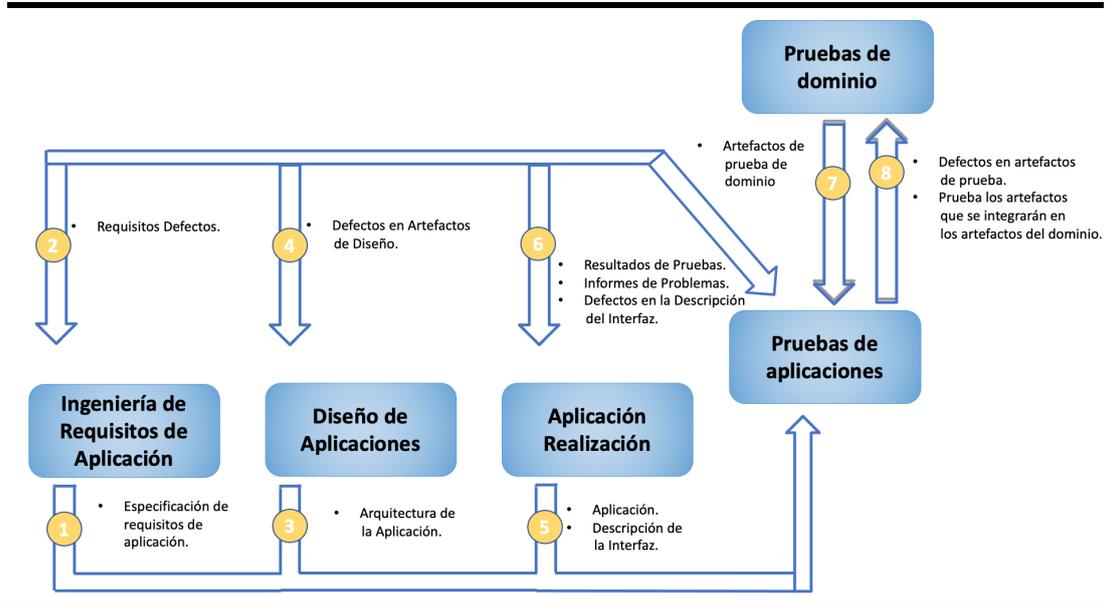


Figura 2.10: Flujo de información entre las pruebas de aplicación y otros subprocesos [172]

configuraciones defectuosas y garantizar que se han vinculado exactamente las variantes especificadas.

- Las pruebas de la aplicación deben tener en cuenta las partes comunes y variables reutilizadas de la aplicación, así como las partes específicas de la aplicación desarrolladas recientemente.

2.6. Variabilidad en la ingeniería de línea de productos de software

Varias compañías han adoptado la noción de líneas de productos software como una innovación que permite afrontar conflictos. Las compañías que han tenido éxito en el proceso de transición a una línea de productos software han cosechado importantes beneficios en términos de establecer o ampliar el liderazgo en el mercado [98, 108, 125, 128, 154], acelerar el crecimiento de los ingresos y una mayor rentabilidad. Sin embargo, con el paso del tiempo, las líneas de producto software suele empezar a sufrir varios problemas, tales como sobrecarga en la coordinación de extensión, ciclos de lanzamiento de versiones más tardíos y el aumento de la densidad de errores en el sistema.

Según Benavides y otros [79], la mayoría de los problemas que enfrentan las líneas de productos de software es debido a la falta de gestión de la variabilidad del software que es la primera causa subyacente. Con el tiempo, el número creciente de puntos de variación, variantes y dependencias entre estos provoca una red de complejidad que causa una reducción gradual de la competitividad de la organización. Esta complejidad elimina, con el tiempo, las ventajas proporcionadas por el enfoque de línea de productos de software.

La solución clave para afrontar estos problemas es mejorar y profesionalizar la forma de gestionar la variabilidad del software. Esto tiene implicaciones a nivel empresarial, arquitectónico, de proceso e, incluso, organizativo.

Entiéndase por variabilidad del software, a la habilidad que tiene un sistema software o plataforma para poder eficientemente ser extendible, adaptable, personalizable o configurable para ser utilizado en un entorno particular.

En la ingeniería de líneas de productos de software, la variabilidad es una propiedad esencial de los artefactos o componentes del dominio. Se introduce durante el subproceso de gestión del producto cuando se identifican las características comunes y variables de las aplicaciones de la línea de productos de software. Luego se traslada esta variabilidad a los requisitos del dominio, donde se detallan las características definidas en la gestión del producto, lo mismo ocurre con el diseño, la realización y las pruebas. En cada subproceso, la variabilidad del nivel anterior se refina y se introduce una variabilidad adicional que no es resultado del refinamiento. El conjunto de todas las actividades asociadas con la caracterización y documentación de la variabilidad se denomina *definición de la variabilidad*.

La variabilidad se define durante la ingeniería del dominio y se explota durante la ingeniería de la aplicación, en lo que consideramos *gestión de la variabilidad*.

Este concepto engloba las siguientes acciones: 1) Actividades de apoyo relacionadas con la definición de la variabilidad. 2) Gestión de artefactos variables. 3) Apoyar las actividades relacionadas con la resolución de la variabilidad. 4) Recoger y gestionar la información precisa para realizar estas acciones.

2.6.1. Variabilidad en el sujeto y el objeto

Para caracterizar un poco más a detalle la variabilidad, es necesario formularse tres preguntas:

¿Qué varía? La respuesta a esta pregunta significa identificar con precisión el elemento o la propiedad variable del mundo real. Esta pregunta conduce a la definición de *sujeto de variabilidad* ^{†1}.

¿Por qué varía? Existen varias razones por las que un ítem o una propiedad varía, tales como las necesidades de los interesados, leyes territoriales, razones técnicas, entre otras. Así mismo, para los elementos interdependientes, la variación de un elemento puede afectar a otro elemento.

¿Cómo varía? Esta pregunta contempla las diversas maneras que puede adoptar un sujeto de variabilidad. Para identificar estas formas, es necesario definir el término objeto de variabilidad ^{†2}.

El primer efecto de considerar estas tres preguntas es una transformación de la manera de comprender la variabilidad. Ser consciente de ella y tratarla conscientemente es un importante prerrequisito del modelado de la variabilidad.

Un par de ejemplos de sujeto y objeto de variabilidad que ayuden a clarificar estos conceptos son:

1. El sujeto de variabilidad “color” corresponde a un ítem del mundo real. Algunos ejemplos de objetos de variabilidad para este sujeto de variabilidad son: rojo, amarillo, blanco y gris.

2. El “método de pago” es un sujeto de variabilidad y algunos objetos de variabilidad correspondientes son: tarjeta de crédito, tarjeta de débito, efectivo y transferencia.

En el contexto de SPLE, el sujeto de variabilidad como el objeto de variabilidad están embebidos en el contexto de SPL. Ambos son necesarios para realizar una línea de productos de software particular y representan un subconjunto de todos los posibles sujetos de variabilidad y un subconjunto de todos los posibles objetos de variabilidad del mundo real.

En este contexto y siguiendo la terminología dada por Pohl y otros [172], es necesario definir el término *punto de variación*, que contempla los detalles sobre la incorporación del sujeto de variabilidad en la línea de productos de software. Así mismo, y de forma análoga, se define el término *variante*, cuya representación corresponde a un objeto de variabilidad; por ejemplo los colores de coche como puntos de variación. Como el ejemplo dado, el sujeto de variabilidad “color” tiene diferentes objetos de variabilidad (rojo, azul, verde,

^{†1}Un sujeto de variabilidad es un elemento variable del entorno real o una propiedad variable de aquel elemento [172]

^{†2}Un objeto de variabilidad es una instancia particular de un sujeto de variabilidad [172]

gris, ...). Si en la industria de automóviles se desea construir coches en diferentes colores, por lo tanto, un punto de variación a definirse sería “color de coche”.

2.6.2. Variabilidad en el tiempo y espacio

La variabilidad en el tiempo es la existencia de diferentes versiones de un artefacto que son válidas en diferentes momentos; mientras que, la variabilidad en el espacio es la existencia de un artefacto en diferentes formas al mismo tiempo [85, 103].

Sabemos que los artefactos de desarrollo evolucionan con el tiempo. Este tipo de cambio se denomina evolución o variabilidad en el tiempo. Para dar soporte a esta evolución nos apoyamos en la gestión de la configuración, que es una técnica para gestionar diferentes versiones de artefactos de desarrollo que son válidos en diferentes momentos.

La variabilidad en el espacio contempla el uso simultáneo de un artefacto variable en diferentes formas por diferentes productos. Uno de los objetivos de la SPLE es construir productos similares que se diferencien dentro de un ámbito definido.

2.6.3. Variabilidad interna y externa

La variabilidad externa es la variabilidad de los artefactos del dominio que es visible para los clientes, mientras que la variabilidad interna es la variabilidad de los artefactos del dominio que se oculta a los clientes.

La variabilidad externa es un efecto de las diferentes necesidades de las partes interesadas o de los cambios de leyes que incidan en la línea de productos software. Es decir, los clientes deciden para cada variante si la necesitan o no.

La variabilidad interna la gestión del producto selecciona las variantes, definiendo así un conjunto de aplicaciones diferentes entre las que los clientes pueden elegir. Suele surgir al perfeccionar o realizar la variabilidad externa debido a que la realización de cada opción ofrecida al cliente suele exigir varias opciones de grano fino en un nivel de abstracción inferior, también las cuestiones técnicas que no tienen que ser consideradas por el cliente pueden ser la causa de la variabilidad interna.

Es recomendable ocultar la variabilidad interna al cliente, con el objetivo que el proceso de decisión para el cliente sea más cómodo, atrayendo a más clientes. También evita que los secretos de la empresa se muestren frente a los competidores. Otro aspecto que se beneficia es el marketing, ya que pueden existir casos en los que la variabilidad de una nueva línea de productos de software interfiera con aplicaciones más antiguas.

2.6.4. Gestión de la variabilidad

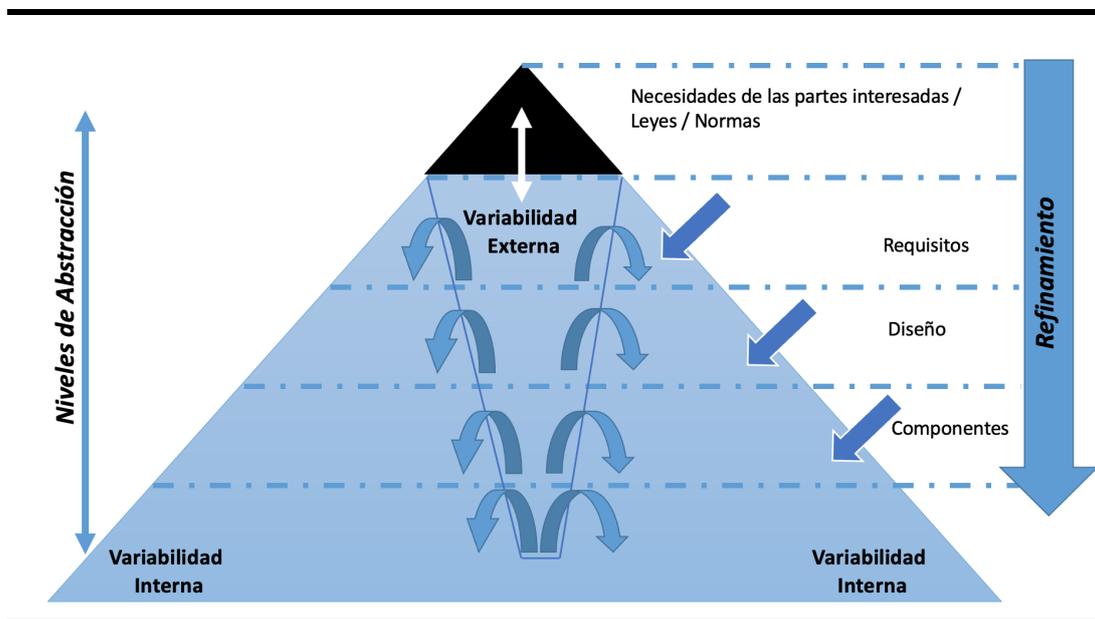


Figura 2.11: Cantidad de variabilidad en diferentes niveles de abstracción [172]

La variabilidad se define en algún nivel de abstracción de los artefactos del dominio y se refina en niveles de abstracción inferiores. Pohl y otros [172] proponen una pirámide de variabilidad, mostrada en la Figura §2.11 donde se vincula la cantidad de variabilidad y la manera de gestionarla en los diferentes niveles de abstracción de los subprocesos.

Los requerimientos de las partes interesadas, las leyes y las normas forman parte de la parte superior de la pirámide. La variabilidad de los requisitos influye en una mayor variabilidad en la arquitectura; por ejemplo, un requisito suele asignarse a más de un elemento de diseño. La variabilidad en el diseño se convierte en variabilidad en los componentes. Además, las pruebas de software deben tener en cuenta la variabilidad definida en los requisitos, en el diseño y en los componentes.

La gran cantidad y la alta complejidad de la variabilidad que se muestra en la Figura §2.11 sólo puede manejarse por medio de la gestión de la variabilidad apoyándose en un modelo que soporte la representación de la variabilidad.

En el estado del arte existe un número importante de técnicas para modelar la variabilidad de las SPL. Las más reconocidas son los modelos de características que se fundamentan en el método de análisis FODA (Feature-Oriented Domain Analysis) [132].

A partir del análisis FODA se han presentado extensiones del método; Así tenemos, que Kang y otros [133] presentaron el método FORM (Feature-Oriented Reuse Method); Griss y otros [123] presentaron Feature-RSEB (Reuse-Driven Software Engineering Business). Van Gurp y otros [203] propusieron una extensión a Feature-RSEB, en la que agregan información adicional a los modelos. Eriksson y otros [114] propusieron el PLUSS (Product Line Use case modeling for System and Software engineering) como una mejora de Feature-RSEB, en la que juntan diagramas de características y diagramas de casos de uso para mostrar la SPL.

Espinel Espinel [115] muestran otras técnicas para el modelado de la variabilidad. Entre ellas destaca el Modelo de Variabilidad Ortogonal (OVM, Orthogonal Variability Modeling), propuesto por Pohl y otros [172] para el modelo de la variabilidad en las SPL. Existen muchas técnicas adicionales para modelar la variabilidad de las SPL.

2.6.4.1. Modelo de Variabilidad Ortogonal

Es un modelo que representa la variabilidad de una SPL, relacionando la variabilidad con otros modelos de desarrollo de software, como los modelos de características, de casos de uso, de diseño, de componentes y de pruebas. La documentación explícita de la variabilidad tiene importantes ventajas, tales como la mejora en la toma de decisiones, la conexión y la trazabilidad. En el modelo se debe incluir toda la información que permita conocer qué varía, cómo varía y por qué varía.

La variabilidad de una línea de productos de software se especifica en un modelo independiente que consta de puntos de variación, variantes y sus relaciones. En la ingeniería de dominio, las variantes están vinculadas a los artefactos de dominio que realizan la variabilidad de la línea de productos de software. Los puntos de variación y las variantes pueden introducirse en cada nivel de abstracción de los artefactos de dominio y refinarse en niveles de abstracción inferiores.

2.7. Resumen

En este capítulo se ha presentado la evolución de la elaboración de productos en la industria, relacionándolo con la incidencia que ha tenido la elaboración de productos en el dominio de la ingeniería de software. También se han definido los principios de la variabilidad en una línea de productos de software y las notaciones para documentar la variabilidad. Se ha revisado el marco de trabajo de la línea de productos software de Pohl y otros [172] y los subprocesos de la ingeniería de dominio y de ingeniería de aplicación.

Capítulo 3

Métodos empíricos

La ciencia siempre se ha preciado de ser empírica y creer solamente aquello que pudiera verificarse.

Bertrand Russell,

Los estudios empíricos se han convertido en un elemento fundamental de la investigación y la praxis de la ingeniería de software. En este capítulo, se detallan el diseño, la realización, el análisis, la interpretación y la divulgación de resultados de las estrategias empíricas empleadas en los estudios de ingeniería de software. En concreto, en la Sección §3.1 se presenta un contexto de la ingeniería empírica y su aporte en la ingeniería de software. En la Sección §3.2 se revisan las características de los métodos empíricos. La Sección §3.3 describe el proceso que se sigue en las encuestas. La Sección §3.4 describe el proceso que se debe realizar en un estudio de caso. La Sección §3.5 explica los elementos que se deben incluir en un experimento. Por último en la Sección §3.6 se presenta el resumen de este capítulo.

3.1. Introducción

De acuerdo a Kitchenham y otros [149], los estudios empíricos se han convertido en un componente fundamental que permite valorar la eficiencia de las técnicas, herramientas y métodos de la investigación y praxis de la ingeniería de software. La ingeniería de software no es exclusiva de soluciones técnicas, también es necesario recibir retroalimentación de estudios en el enfoque de investigación adoptado, incorporando también el comportamiento humano. Los métodos empíricos son una práctica común en muchas otras disciplinas. En los últimos años se evidencia un crecimiento importante, en este sentido actualmente existe conferencias de trayectoria sobre ingeniería y medición de software empírico, revista científica y una red internacional de investigación de ingeniería de software.

El presente capítulo describe los tres principales métodos empíricos de investigación: encuestas, estudios de casos y experimentos controlados. Se centra en describir el conocimiento práctico necesario para realizar, informar y utilizar métodos empíricos en ingeniería de software.

Para ello, en este capítulo se resumen las técnicas validadas por otros investigadores sobre el diseño, la realización, el análisis, la interpretación y la presentación de informes utilizados por los métodos empíricos, destacando las dificultades y los desafíos comunes que se encuentran en la praxis. Se describe estos tres métodos de tal manera que sea posible seleccionar el método más adecuado en una instancia específica. Los métodos tienen en común el uso de datos cuantitativos. Sin embargo, varios de ellos también son adecuados para datos cualitativos. Algo que se debe desatacar es que los métodos no son excluyentes. Los diferentes métodos empíricos de investigación pueden usarse conjuntamente para obtener más fuentes de información que permitan reportar resultados y hallazgos que permitan tomar decisiones mejor fundamentadas en la ingeniería de software [182].

3.2. Características de los métodos de investigación empírica

Existen varios métodos empíricos para realizar investigación. A continuación revisamos algunos de los métodos empíricos más utilizados en ingeniería de software de acuerdo a Kitchenham y otros [149].

Experimentos controlados y cuasi-experimentos. Son utilizados para responder preguntas de investigación muy específicas, con frecuencia de naturaleza comparativa. Sin embargo, para los experimentos centrados en el ser humano, la profundidad con la que se pueden abordar los problemas en torno a una pregunta de investigación se encuentra limitada.

Encuestas. El uso de una encuesta hace posible responder ciertos tipos de preguntas de investigación; sin embargo, obtener una muestra lo suficientemente grande de encuestados suele dificultar la exploración de los problemas en profundidad. En general, las encuestas definitivamente encajan en la categoría "superficial".

Estudios de caso. Los estudios de casos permiten un sondeo más profundo de un problema y pueden sostenerse durante largos períodos de tiempo. Sin embargo, el tiempo y dedicación invertido en cada estudio de caso hace que sea poco práctico realizar varios estudios lo que provoca que los resultados no se puedan generalizar.

De acuerdo a Kitchenham y otros [149] es tarea del investigador seleccionar el método adecuado para satisfacer o abordar una pregunta de investigación, así como determinar la profundidad del conocimiento requerido e identificar el grado de generalidad necesario para ese conocimiento.

En la Tabla §3.1 se muestra un resumen de los criterios presentados por Yin [211] relacionando los tipos de preguntas de investigación y los métodos empíricos que mejor abordan el planteamiento de las preguntas de investigación.

Criterios de [212]	Experimento	Encuesta	Estudio de caso
Evento contemporáneo	Si	Si	Si
Tipo de pregunta de investigación	¿Cómo? ¿Por qué?	¿Quién? ¿Qué? ¿Dónde? ¿Cuántos? ¿Cuánto?	¿Cómo? ¿Por qué?
Requiere Control	Si	No	No

Tabla 3.1: ¿Cuándo utilizar diferentes método de investigación? [180]

Otros aspectos que se deben considerar para escoger el método empírico que mejor se adapte al problema de investigación, están relacionados con el nivel de control, el grado de realismo, el tipo de datos obtenidos y el proceso de investigación que se efectue [149].

Los investigadores deben tener especial atención debido a que la situación realista puede ser compleja y no determinista, lo que dificulta la comprensión de lo que sucede, especialmente para estudios con fines explicativos. Y por otro lado, aumentar el control reduce el grado de realismo.

Por otra parte, de acuerdo a los datos obtenidos en un estudio empírico pueden clasificarse como estudios cuantitativos o cualitativos. Los datos cuantitativos son más exactos y se analizan mediante estadísticas, mientras que los datos cualitativos son más ricos en lo que pueden expresar se analizan mediante la categorización y la clasificación normalmente incluyen palabras, descripciones, imágenes, etc. De acuerdo a Seaman [185] *"La combinación de datos cualitativos y cuantitativos suelen proporcionar una mejor comprensión del fenómeno estudiado"* lo que se denomina *"métodos mixtos"* [177].

De acuerdo al proceso de investigación, puede caracterizarse como un diseño fijo o flexible según Anastas [65] y Robson [177]. Se considera un proceso de diseño fijo cuando todos los criterios se determinan al inicio del estudio y es un estudio de diseño flexible, cuando los criterios claves se pueden modificar en el desarrollo del mismo.

	Experimento	Encuesta	Estudio de caso
Objetivo principal	Explicación	Descripción	Exploración
Datos primarios	Cuantitativo	Cuantitativo	Cualitativo
Tipo de diseño	Fijo	Fijo	Flexible

Tabla 3.2: Características de los métodos de investigación [180]

En la Tabla §3.2 se presenta un resumen de las características de los métodos de investigación. Podemos concluir que los estudios de caso con frecuencia son estudios de diseño flexible, debido a que pueden ajustarse a los hallazgos durante el transcurso del estudio. Suelen basarse principalmente en datos cualitativos, además tienen un alto grado de realismo por su naturaleza, en ocasiones sacrificando el nivel de control. Mientras que los experimentos y las encuestas suelen ser estudios de diseños fijos, que no pueden modificarse una vez iniciados y principalmente recogen datos cuantitativos y en su mayoría aíslan una cierta parte de la realidad.

3.3. Encuesta

Una encuesta es una estrategia de investigación empírica para la recopilación de información de diferentes fuentes. Los resultados de las encuestas tienen un alto grado de validez externa, suelen ser complementarios a otras estrategias de investigación empírica como los experimentos controlados, o los estudios de caso, los que proveen una alta validez interna de los hallazgos.

En la literatura de ingeniería del software es evidente que crece el número de estudios empíricos. Existen pautas o metodologías que permiten a los investigadores utilizar las encuestas de manera sistemática para la investigación empírica de ingeniería de software [140–142, 146, 147, 170]. Estas metodologías explican cómo preparar, realizar y analizar una encuesta en ingeniería de software basadas en cuestionarios [118, 145]. Es decir, presentan un proceso que permite a los investigadores en ingeniería de software empírica seguir un enfoque sistemático y disciplinado y ayudan a evitar errores comunes que ponen en peligro tanto el proceso de investigación como sus resultados.

El proceso se basa en el marco del paradigma de mejora de la calidad [71]. Sus etapas son: 1) Definición del estudio. 2) Diseño de la encuesta. 3) Implementación de la encuesta. 4) Ejecución de la encuesta. 5) Análisis e interpretación de los datos. 6) Informe de los resultados de la encuesta.

En la Figura 3.1 se muestran los pasos e iteraciones típicas de este proceso.

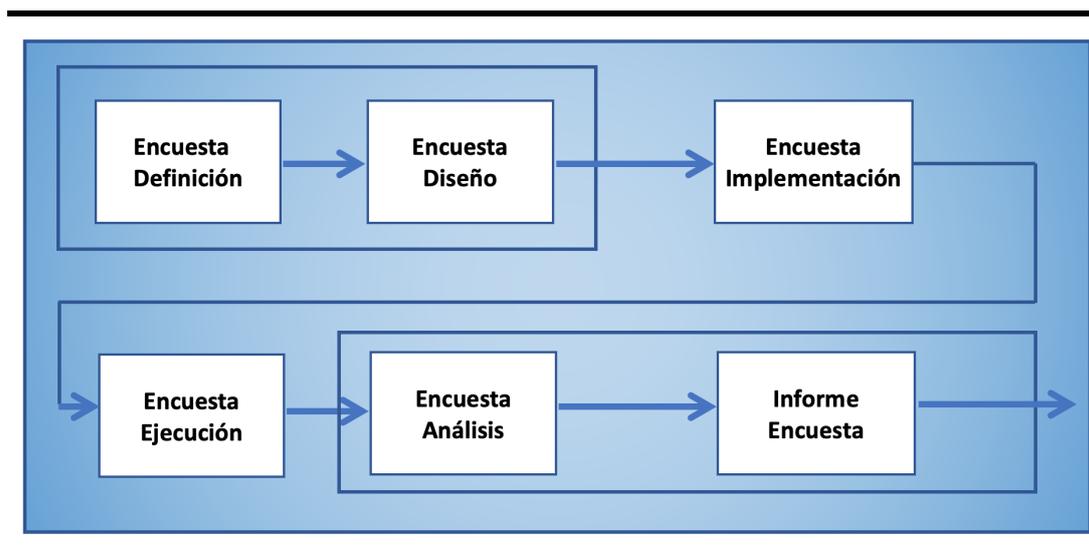


Figura 3.1: Etapas e Iteraciones de una encuesta [97]

3.3.1. Definición del estudio

De acuerdo a Kitchenham y Pfleeger [146] [170], en la primera etapa se debe definir cada objetivo, es decir se debe declarar los resultados esperados de la encuesta. Es importante que la declaración de objetivos incluya definiciones de todos los términos potencialmente ambiguos; lo que permitirá, la comprensión de la terminología por parte de los encuestados, además de impulsar el diseño y desarrollo del instrumento.

Los objetivos deben ser claros y medibles, suelen formularse como preguntas de investigación o hipótesis, y ayudan a conocer cuáles son las variables dependientes e independientes de la investigación. Permitirán determinar qué información debemos recopilar. Es decir, dependerá de los objetivos establecer sobre que se preguntará en la encuesta, al igual que definir la población objetivo [170].

3.3.2. Diseño de la encuesta

De acuerdo a Kitchenham y Pfleeger [146], el proceso de diseño de la encuesta comienza con la revisión de los objetivos, la decisión sobre la mejor manera de obtener la información necesaria para abordar esos objetivos y la definición de la población, es decir en esta etapa se determina el tamaño de la muestra adecuada, buscando garantizar la mayor tasa de respuesta posible.

Diseñar una encuesta es muy similar a diseñar un experimento [169] debido a que el diseño de la encuesta debe coincidir con los objetivos del estudio para que los datos y el análisis de la encuesta correspondan con las preguntas.

Por lo general una encuesta puede tener un diseño descriptivo o experimental. El diseño de la encuesta es descriptivo cuando intenta describir un fenómeno de interés. El diseño de la encuesta es experimental cuando la encuesta pretende evaluar el impacto de alguna intervención, para respaldar la prueba de hipótesis.

Al igual que con cualquier método experimental, el diseño de una encuesta puede ser complejo. Es importante seleccionar un diseño que proporcione los medios más efectivos para obtener la información necesaria para abordar nuestros objetivos. Para ello, se deben tener en cuenta las siguientes características:

Resistente al sesgo. Se debe plantear un diseño que no se deje influenciar por aspecto u opiniones en particular. Es decir, los resultados que se obtengan

deben representar la realidad de la situación.

Adecuado. Un diseño que tenga sentido en el contexto de la población debe ser lo suficientemente complejo para abordar las cuestiones planteadas por los objetivos del estudio, y no más complejo de lo necesario.

Rentable. Se debe plantear un diseño cuya administración y análisis estén dentro de los medios de los recursos asignados a la encuesta.

Tamaño de la muestra. De acuerdo a Kitchenham y Pfleeger [141], cuando administramos una encuesta, normalmente se encuesta a un subconjunto de la población llamado muestra, con la confianza de que las respuestas del grupo más pequeño representen lo que habrían sido las respuestas de todo el grupo. Como afirma Oppenheim [166], se debe extraer una muestra representativa de modo que cada miembro de la población tengan la misma probabilidad estadística de ser seleccionados.

Con el objetivo de obtener resultados precisos, fiables y que sea verdaderamente representativos de la población más grande, la muestra debe considerar los tres aspectos del diseño comentados: evitar sesgos, adecuación y rentabilidad. Una forma de garantizar precisión y confiabilidad, es teniendo información previa sobre los fenómenos que pretendemos estudiar. Otro aspecto importante es asegurarnos de que suficientes personas completan la encuesta para obtener resultados significativos. Por lo tanto, cualquier encuesta confiable debe medir e informar su tasa de respuesta. Es decir, la proporción de participantes que respondieron en comparación con el número de personas a las que se contactó. La validez de los resultados de la encuesta se ve seriamente comprometida si hay un nivel significativo de falta de respuesta [141, 146].

3.3.3. Implementación de la encuesta

El objetivo de esta fase es elaborar, recolectar y preparar todo el material que se requiere para realizar la encuesta en concordancia con el plan de estudio.

El material a preparar incluye medios para la recopilación de datos; por ejemplo, formularios de recopilación de datos, herramientas de recopilación de datos, cuestionarios en línea, protocolos de entrevista. El esfuerzo para implementar una encuesta es considerable, hay que prestar atención a varios detalles; pues, el hecho de no implementar correctamente la encuesta, puede comprometer la validez de los datos recopilados, la baja usabilidad puede molestar a los posibles encuestados y reducir la tasa de respuesta.

El instrumento de encuesta, los cuestionarios, se construyen siguiendo los siguientes pasos: 1) Buscar la literatura relevante. 2) Construir el instrumento. 3) Evaluar el instrumento. 4) Documentar el instrumento.

Buscar la literatura relevante. Iniciamos buscando en la literatura para identificar qué otros estudios se han hecho sobre el tema y averiguar que mecanismos los investigadores utilizaron en estudios anteriores para recolectar sus datos; con el objetivo de aprender de ellos y mejorarlos. En ingeniería de software, con frecuencia se empieza desde cero la construcción de los cuestionarios.

Construir el instrumento. De acuerdo a Kitchenham y Pfleeger [147], es esencial que las preguntas de la encuesta se relacionen directamente con los objetivos de la encuesta. También es importante tener en cuenta la cantidad de preguntas que se pueden hacer de manera realista en una encuesta, depende de la cantidad de tiempo que los encuestados están dispuestos a comprometerse para contestar la encuesta, una forma de reducir el tiempo necesario para completar una encuesta es tener formatos de respuesta estandarizados.

Para construir las preguntas del cuestionario una vez que tenemos una idea de lo que queremos preguntar, debemos reflexionar sobre cómo queremos plantear las preguntas. La preguntas debe ser concreta, es decir cada pregunta debe ser precisa y sin ambigüedades [147].

Es necesario buscar mecanismos de motivación para que los encuestados brinden respuestas completas y precisas. Por ello, es necesario que el instrumento de la encuesta vaya acompañado de varios datos claves, para que los participantes conozcan:

- ¿Cuál es el propósito del estudio?
- ¿Por qué debería ser relevante para ellos?
- ¿Por qué es importante la participación de cada individuo?
- ¿Cómo y por qué se eligió a cada participante?
- ¿Cómo se preservará la confidencialidad?

Otra consideración importante para la construcción del cuestionario es el impacto de nuestro propio sesgo, esto suele suceder por que a menudo tenemos una idea preconcebida de lo que estamos buscando. Hay que tener especial atención al momento de redactar nuestras preguntas, y evitar influir en las

respuestas mediante: la forma en que se hace una pregunta, el número de preguntas formuladas, el rango y tipo de categorías de respuestas y las instrucciones dadas a los encuestados.

Para evitar sesgos en la construcción del cuestionario, necesitamos: 1) Desarrollar preguntas neutrales. 2) Realizar suficientes preguntas para cubrir adecuadamente el tema. 3) Prestar atención al orden de las preguntas. 4) Proporcionar categorías de respuesta exhaustivas, imparciales y mutuamente excluyentes. 5) Escribir instrucciones/acciones claras e imparciales.

Evaluar el instrumento. De acuerdo a Kitchenham y Pfleeger [140], una vez creado el instrumento es fundamental evaluarlo mediante una prueba previa para comprobar que las preguntas son comprensibles. Además, se debe evaluar la confiabilidad y validez del instrumento y garantizar que nuestras técnicas de análisis de datos coincidan con las respuestas esperadas. También se debe evaluar la tasa de respuesta probable y la eficacia del procedimientos de seguimiento.

Las dos formas más comunes de organizar una evaluación son los grupos focales y los estudios piloto. Los grupos focales, son grupos de discusión mediados, consiste en reunir un grupo de personas a a quienes se les pedirá que completen la encuesta e identifiquen cualquier problema potencial.

Los estudios piloto de las encuestas se realizan utilizando los mismos procedimientos de la ejecución de la encuesta, pero el instrumento de la encuesta se administra a una muestra más pequeña. Los estudios piloto están destinados a identificar cualquier problema con el cuestionario en sí, así como con la tasa de respuesta y los procedimientos de seguimiento. También pueden contribuir a la evaluación de la confiabilidad.

Tipos de validez. Se suelen usar variables sustitutas para medir lo que realmente queremos saber.

Para determinar la validez aparente se realiza una revisión superficial de los elementos por parte de jueces no capacitados.

La validez de contenido es una evaluación subjetiva de qué tan apropiado parece el instrumento para un grupo de revisores. Es decir, un grupo focal con conocimiento del tema.

La validez de criterio concurrente es una medida que busca verificar qué tan bien un instrumento se compara con otro instrumento predecesor.

La validez del constructo se refiere a cómo se *comporta* un instrumento cuando se usa. Es decir, evalúa hasta qué punto los diferentes enfoques de

recopilación de datos producen resultados similares y hasta qué punto los resultados no se correlacionan con conceptos similares pero distintos [140].

3.3.4. Ejecución de la encuesta

El objetivo de la fase de ejecución es precisamente ejecutar la encuesta de acuerdo con el plan de encuesta definido para recopilar los datos necesarios, que posteriormente se analizarán y reportarán. Se debe verificar la ejecución real con el plan y realizar actividades de control de calidad que permitan auditorías después del estudio en busca de anomalías de ejecución que puedan afectar la validez de la encuesta [97].

3.3.5. Análisis e interpretación de los datos

Luego de haber diseñado y administrado la encuesta, de acuerdo a Kitchenham y Pfleeger [142], se debe analizar los datos que se han recopilado. Cabe destacar que si se ha diseñado la encuesta correctamente, ya debería haberse identificado los principales procedimientos de análisis. Incluso al realizar las pruebas previas o estudios piloto, ya se deberían haber probado los procedimientos de análisis. Es importante reducir la posibilidad de cuestionarios incompletos cuando diseñamos y probamos nuestros instrumentos. Una justificación para las encuestas piloto es que pueden detectarse preguntas engañosas y/o instrucciones deficientes antes de que se lleve a cabo la encuesta principal.

Validación de datos. Una actividad que se debe realizar antes de emprender cualquier análisis es examinar las respuestas para verificar su consistencia y exhaustividad. Se debe tener una política para el manejo de cuestionarios inconsistentes o incompletos, si encontramos que la mayoría de los encuestados respondieron todas las preguntas. Así podemos decidir rechazar los cuestionarios incompletos.

Si la mayoría de los encuestados han omitido algunas preguntas específicas. En este caso, es más apropiado eliminar esas preguntas del análisis pero mantener las respuestas a las otras preguntas. Es decir, tendremos diferentes tamaños de muestra para cada pregunta que analizamos y debemos recordar reportar la cantidad real.

Partición de las respuestas. Con frecuencia es necesario dividir nuestras respuestas en subgrupos más homogéneos antes del análisis. Generalmente se realiza sobre la base de la información demográfica. Es posible que deseemos

comparar las respuestas obtenidas de diferentes subgrupos o simplemente informar los resultados de diferentes subgrupos por separado.

Codificación de datos. Existen muchos programas estadísticos que no pueden manejar categorías representadas por cadenas de caracteres. Por ello, en ocasiones es necesario convertir los datos de escala nominal y ordinal de los nombres de categorías a valores numéricos antes de que los datos se registren digitalmente. Por lo general, los códigos se colocan en el cuestionario junto con los nombres de las categorías, por lo que la codificación se realiza durante el diseño del cuestionario y no durante el análisis de datos.

Para codificar las preguntas abiertas, las categorías de respuesta deben construirse después de que se hayan devuelto los cuestionarios. Se requiere experiencia para identificar si dos respuestas diferentes son equivalentes o no. Es aconsejable pedir a varias personas diferentes que codifiquen las respuestas y comparen los resultados; con el objetivo de que la categorización no introduzca sesgos.

Análisis de datos estándar. El análisis de datos supone que hemos realizado un muestreo probabilístico. Si no tenemos una muestra de probabilidad, podemos calcular varias estadísticas asociadas con los datos que hemos recopilado, pero no podemos estimar las estadísticas de población. El análisis de datos específico que necesita depende del diseño de la encuesta y del tipo de escala de las respuestas (ordinal, nominal, intervalo, proporción, etc.). El análisis de datos numéricos es relativamente sencillo. Sin embargo, existen problemas adicionales si sus datos son ordinales o nominales.

Análisis de datos ordinales. Una gran cantidad de encuestas piden a las personas que respondan preguntas en una escala ordinal, como una escala de acuerdo de cinco puntos.

3.3.6. Informe de los resultados de la encuesta

El objetivo de esta fase es informar los resultados de la encuesta para que las partes externas puedan comprender los resultados y sus contextos. La presentación de los resultados de la encuesta se debe estructurar de acuerdo con los objetivos e intereses del grupo objetivo. Debería incluir un resumen ejecutivo, declaración del problema, métodos y procedimientos, reconocimiento de posibles errores, hallazgos, implicaciones y apéndices (opcionales) [148].

También se debe reportar cómo se obtuvo la muestra a partir de la población objetivo. Es decir, a quién se enviaron los cuestionarios o cómo se eligie-

ron los encuestados. Otro factor importante a reportar es la tasa de respuesta del cuestionario. Cualquier prueba piloto y posterior modificación del cuestionario debe ser explicada. Además, de ser posible se pueden anexar las preguntas en el informe o en un apéndice.

3.4. Estudios de caso

De acuerdo a Kitchenham y otros [149], actualmente se evidencia un creciente interés en la investigación de estudios de casos dentro de la comunidad de ingeniería de software y es sustentado en la necesidad de conocer lo que realmente acontece en mundo real para poder fortalecer las investigaciones y proporcionar información útil a las organizaciones fundamentado en sus necesidades prácticas. Una característica a tener en cuenta es que los estudios de casos pueden consumir mucho tiempo de los investigadores y de las organizaciones involucradas. Además, los hallazgos encontrados no se deben generalizar a partir de un solo caso, pues carecen de suficientes datos para un análisis estadístico. Para generalizar, necesitamos réplicas que usen exactamente el mismo protocolo que se utilizó para el caso original. Por lo tanto, es importante desarrollar, utilizar y documentar cuidadosamente un protocolo de estudio de caso, para describir detalladamente el contexto del caso y poner a disposición de otros investigadores el protocolo del estudio de caso con el objetivo de que se realicen réplicas que fortalezcan o desmientan los hallazgos encontrados en el estudio original.

Los estudios de caso correctamente realizados pueden proporcionar mucha información útil, tanto para los investigadores, como para la organización involucrada. Los estudios de caso, a diferencia de otras estrategias empíricas, ofrecen un enfoque que no requiere un lineamiento estricto entre el objeto de estudio y su entorno, proporcionando una comprensión más profunda de los fenómenos estudiados. Al ser diferentes de los estudios empíricos analíticos y controlados, los estudios de casos han sido criticados por varios investigadores. Las principales críticas son que el resultado de un estudio no se puede generalizar sobre la base de un solo caso o se suelen calificar de arbitrarios y subjetivos pues consideran que eventualmente podrían estar sesgados por los investigadores. Se debe reconsiderar que el conocimiento es más que la significación estadística [120, 152, 164].

Esta crítica puede superarse aplicando prácticas metodológicas de investigación adecuadas. Existe guías que nos ayudan a evitar algunos problemas y nos permiten mejorar la metodología de investigación aplicada en un estudio de caso en ingeniería de software. Por ejemplo, el libro de Runeson y Höst

[179], Runeson y otros [180] es una adaptación y aplicación de la metodología de estudio de caso de otras disciplinas a la ingeniería del software.

De acuerdo a Runeson y otros [180], *“El estudio del caso en ingeniería de software es una investigación empírica que se basa en múltiples fuentes de evidencia para investigar un caso (o un pequeño número de casos) de un fenómeno de ingeniería de software contemporáneo dentro de su contexto de la vida real, especialmente cuando el límite entre el fenómeno y el contexto no puede ser claramente especificado”*.

Con frecuencia la ejecución de un estudio de caso en ingeniería del software busca comprender mejor cómo y por qué se debe realizar la ingeniería del software y, con este conocimiento, tratar de mejorar el proceso de ingeniería del software y los productos de software resultantes. Hay que considerar que existen diversas estrategias de investigación y sirven para distintos propósitos. Dependiendo del propósito de la investigación se podría escoger entre cuatro tipos generales de estrategias de investigación.

- **Exploratoria:** busca descubrir lo que está ocurriendo, encontrar nuevas perspectivas y generar ideas e hipótesis para nuevas investigaciones.
- **Descriptiva:** representa el estado actual de una situación o fenómeno.
- **Explicativa:** busca una justificación para una situación o un problema, con frecuencia en forma de relación causal.
- **De mejora:** intentar mejorar un determinado aspecto del fenómeno estudiado.

Los estudios de casos se utilizaron en sus inicios principalmente con fines exploratorios. De acuerdo a Flyvbjerg [120], algunos investigadores siguen limitando los estudios de casos a este propósito. Sin embargo, también se puede utilizar con fines explicativos o descriptivos si el fenómeno es de importancia secundaria. Con mayor frecuencia, los estudios de casos en el dominio de la ingeniería de software suelen adoptar un enfoque de mejora, similar al de la investigación-acción.[149]

Al realizar un estudio de caso, hay que considerar los siguientes pasos del proceso: 1) Diseño del estudio del caso. 2) Preparación de la colección de datos. 3) Análisis de la colección de datos. 4) Informe.

En el diseño del estudio de caso se declaran los objetivos y se planifica el estudio de caso. En la segunda fase se prepara la recopilación de datos. Es decir, se establecen los procedimientos y protocolos para realizar esta recopilación. En la fase de recopilación de pruebas se ejecuta el procedimiento de

recopilación y, por último, en la fase de análisis de los datos se aplican los procedimientos de análisis de datos y finalmente se reportará los resultados obtenidos del estudio y sus conclusiones. En las siguientes subsecciones se detallan estas fases.

3.4.1. Diseño del estudio del caso

En esta fase del proceso de estudio de caso se establece los objetivos y se planifica el estudio de caso. A continuación se describen los elementos que intervienen dentro del diseño de estudio de caso siguiendo las guías dadas por Runeson y Höst [179], Runeson y otros [180]. Estas mismas guías permitirán documentar el diseño de un estudio de caso específico con un protocolo de estudio de caso y actualizar ese protocolo a medida que avanza el estudio.

Justificación del estudio. El investigador debe tener claro por qué se realiza el estudio. Por ejemplo, puede existir una motivación académica, enmarcada en realizar una contribución novedosa al conjunto de conocimientos sobre un tema. O puede ser motivado por conocer la situación de la industria y/o realizar algún tipo de mejora.

Objetivo del estudio. Este elemento del diseño busca evidenciar claramente qué se espera conseguir del estudio. El objetivo general es una declaración de lo que el investigador y/o los participantes industriales esperan conseguir como resultado de la realización de ese estudio. Se resume en un conjunto de preguntas de investigación que se satisfacen mediante la recogida y el análisis de datos del estudio de caso.

Casos y unidades de análisis. Al referirnos al caso, buscamos especificar en general qué se estudia. Es decir, el caso puede ser cualquier cosa que sea un fenómeno actual de la ingeniería del software en su contexto. Por ejemplo los proyectos de software son un candidato obvio como objeto de estudio en un estudio de caso; sin embargo, el estudio de todo un proyecto de software podría tornarse muy complejo, por ello los investigadores normalmente estudian algún aspecto o aspectos específicos de un proyecto de software para realizar sus estudios de caso.

Se debe distinguir entre un caso y la unidad o unidades de análisis dentro de ese caso. Yin [211] distingue entre: estudios de casos holísticos en los que el caso se estudia como un todo, y los estudios de casos incrustados en los que se estudian múltiples unidades de análisis dentro de un caso. En la Figura §3.2 se relaciona el tratamiento de caso y unidades de análisis con el tipo de estudio de caso, tal como describe Yin [211].

Yin asegura que el diseño holístico es más apropiado cuando no hay subunidades lógicas en el caso y, por tanto, no hay unidades de análisis adicionales. Los diseños holísticos adoptan una perspectiva muy amplia al estudio, por lo que puede no ser capaz de examinar con suficiente detalle el caso y, por tanto, puede pasar por alto cuestiones importantes. Una alternativa de solución es el diseño de estudio de caso incrustado. Dicho diseño anticipa la necesidad de recoger, analizar e informar sobre detalles complejos del caso. El investigador puede utilizar técnicas de recogida de datos, tales como encuestas y técnicas de análisis de datos (p.e., estadísticas más adecuadas para muestras y poblaciones). Este diseño puede contener varias unidades de análisis dentro del contexto de un caso.

Otra posibilidad es tratar el estudio como un estudio de casos múltiples, con más de un caso y varias unidades de análisis dentro de cada caso. Un riesgo de los diseños incrustados es que el investigador siga centrándose en las subunidades del caso y no preste suficiente atención al caso en general.

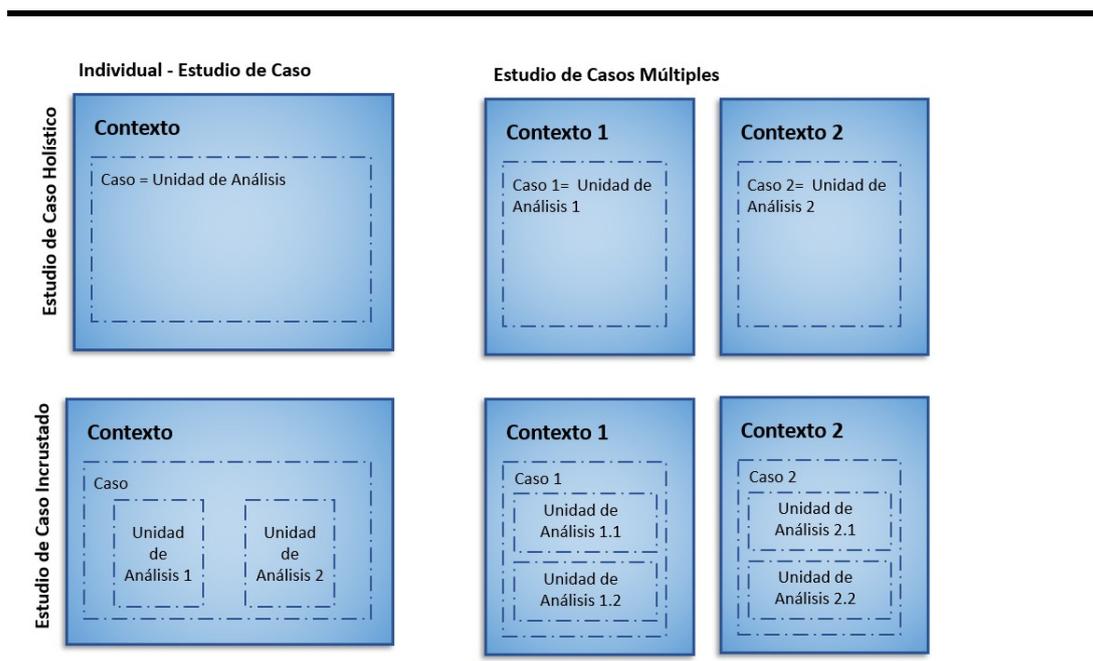


Figura 3.2: Tratamiento de caso y unidad de análisis en un estudio de caso [211]

Los investigadores también distinguen entre estudios de caso único y estudios de caso múltiple. Es decir, dos o más casos dentro de contextos diferentes conforman un estudio de casos múltiples. Cada caso individual puede ser holístico o incrustado. El hecho de definir un estudio compuesto por dos casos

como holístico o incrustado depende de otros aspectos del diseño de la investigación, tales como los objetivos de la misma, las preguntas y las proposiciones de la investigación, y la base de la replicación y la generalización.

Marco teórico. Definir el marco teórico de referencia del tema a investigar aclara el contexto del estudio de caso y ayuda a los investigadores y a los interesados en sus resultados. Con frecuencia se expresa en términos de trabajos relacionados en los que se fundamenta el estudio, el punto de vista seguido en la investigación y los antecedentes de los investigadores. De acuerdo a Strauss y Corbin [193], los estudios de caso con teoría fundamentada no tienen una teoría específica al principio del estudio.

Verner y otros [206] recomiendan que se realice una revisión bibliográfica minuciosa en las primeras fases del proyecto de investigación, a fin de formar una base sólida para el estudio de caso, con el objetivo de evidenciar las brechas de investigación, y justificar el aporte del estudio. También ayudará en la definición de las preguntas de investigación, proposiciones y conceptos y medidas. Además, proporcionará información sobre la forma en que los investigadores anteriores han diseñado y realizado estudios entorno al tema.

Las revisiones sistemáticas de la literatura (SLR) y los estudios de mapeo sistemático (SMS) Keele y otros [134], Petersen y otros [168] son cada vez más utilizados en la investigación de la ingeniería de software como dos métodos para realizar revisiones minuciosas de la literatura. Los SLR sintetizan los datos empíricos en un campo de interés, y los SMS proporcionan una visión global de la presencia y ausencia de investigación en un campo de interés.

Preguntas de investigación. Este elemento del diseño de estudio de caso tiene relación directa con los objetivos generales del estudio. Son afirmaciones realizadas del conocimiento que se busca, o que se espera descubrir durante el estudio de caso. Es probable que las preguntas de investigación se reajusten debido a que el investigador aprecia mejor el conocimiento que busca [66], si se efectúa un reajuste en las preguntas de investigación, tendrá que reajustar los objetivos generales del estudio de caso.

Verner y otros [206] indica que las preguntas de la investigación deben ser precisas y sin ambigüedades, además deben alcanzarse con el estudio de caso y no deben ser más adecuadas para la investigación a través de otros medios científicos.

Robson [177] asegura que no existe una forma automática e infalible de generar preguntas de investigación y se basa en el trabajo de Campbell y otros [90] para subrayar que la generación de preguntas de investigación innovadoras no es un acto o una decisión única.

Con frecuencia las preguntas de investigación, al igual que los objetivos del estudio, suelen descomponerse en preguntas de investigación más generales y más específicas. Una pregunta de investigación puede estar relacionada con una hipótesis. Es decir, una supuesta explicación de un aspecto del fenómeno estudiado. Las hipótesis pueden generarse alternativamente a partir del estudio de caso para una investigación posterior.

Un aspecto a considerar es que el descubrimiento o la obtención de los conocimientos previstos en el estudio de caso, demuestra que se ha alcanzado los objetivos.

Proposiciones e hipótesis. Para Verner y otros [206], una hipótesis “... es una afirmación comprobable empíricamente que se genera a partir de proposiciones...”.

Las proposiciones son predicciones que pueden deducirse fundamentadas por la literatura existente, y las hipótesis se generan a partir de las proposiciones [188]. Yin [211] menciona que las proposiciones son *implementaciones* más específicas de las preguntas de investigación. Sin embargo, afirma que algunos estudios de casos tienen razones legítimas para no tener proposiciones, por ejemplo, cuando hay poco o ningún marco teórico establecido sobre el tema que se este investigando. En este sentido, las proposiciones podrían ser resultados del estudio en lugar de elementos del diseño del estudio de caso.

Verner y otros [206] recomienda que las proposiciones se agrupen con sus correspondientes preguntas de investigación. Por su parte Robson [177] cree que las hipótesis pueden ser un puente útil entre la pregunta de investigación y el diseño de la misma. Cabe destacar que una proposición puede generar varias hipótesis. Dado que las hipótesis son afirmaciones comprobables empíricamente, el investigador debe operacionalizarlas, permitiendo definir de mejor forma los conceptos y las medidas que se utilizarán en el estudio.

Definición de conceptos y medidas. Se debe definir los conceptos que se utilizan en las preguntas, las proposiciones y las hipótesis de la investigación y las medidas de esos conceptos. Algunos conceptos pueden no ser medibles directamente y será necesario identificar y definir medidas sustitutivas.

Métodos de recogida de datos. En la fase de diseño del estudio de caso se debe determinar las decisiones sobre los métodos de recogida de datos. Sin embargo, se pueden tomar más detalles posteriormente sobre los procedimientos a realizar para la recogida de datos para adaptarse a las oportunidades que se presenten para la recogida de datos durante la realización del estudio. Verner y otros [206] presentan tres principios para la recogida de datos: 1) Utilizar múltiples fuentes de datos. 2) Crear un repositorio de estudios

de casos. 3) Validar los datos y mantener una cadena de pruebas.

Los métodos utilizados para la recogida de datos se verán respaldados, por las fuentes de datos que estén disponibles. Con frecuencia, las entrevistas, los grupos de discusión y las encuestas con cuestionarios son métodos utilizados para recogida de datos. En ingeniería de software, se pueden considerar otras fuentes de datos automáticas tales como bases de datos de informes de fallos, sistemas de control de versiones, correos electrónicos, conjuntos de pruebas automáticas, etc.

Lethbridge y otros [153] definen tres categorías de métodos para la recogida de datos: directos, (p.e. entrevistas), indirectos (p.e. instrumentación de herramientas) e independientes (p.e. análisis de documentación).

Métodos de análisis de datos. La cantidad y el tipo de datos que se recojan tendrán repercusión en los tipos de análisis que se efectúen. Durante el diseño del estudio de caso, puede ser complicado prever qué técnicas analíticas se utilizarán, pero el investigador debe ser capaz de anticipar los tipos de técnicas, preparándose para manejar conjuntos de datos grandes, complejos y diversos.

Selección de la estrategia de caso. Este elemento del diseño del estudio de caso se preocupa de definir cómo se identificarán y seleccionarán los casos y las unidades de análisis, los datos y la estrategia de selección de datos. Este proceso responde, por ejemplo, a las preguntas: ¿A quiénes se entrevistarán? y ¿qué fuentes de datos físicas o electrónicas están disponibles para su uso en el estudio?.

En los estudios de caso, el caso y las unidades de análisis se seleccionarán de manera intencional con base en el propósito de lo que se desea. Es decir, el propósito puede ser estudiar un caso que se espera que sea "típico", "crítico", "revelador" o "único" [211].

Flyvbjerg [120] define cuatro variantes de selección de estudios de caso orientados a la información:

- **Extremo/desviado.** Para obtener información sobre casos inusuales, que pueden ser especialmente problemáticos o especialmente buenos.
- **Variación máxima.** Para obtener información sobre la importancia de diferentes circunstancias para el proceso y el resultado del caso; por ejemplo, tres o cuatro casos que son muy diferentes en una dimensión: tamaño, forma de organización, ubicación, presupuesto.
- **Crítico.** Conseguir información que permita deducciones lógicas.

- **Paradigmático.** Desarrollar una metáfora o establecer una escuela para el ámbito al que se refiere el caso.

Es importante tener un diseño de estudio de caso flexible pues puede ser difícil saber de antemano si un caso será típico, revelador etc. Sin embargo la selección de casos es especialmente importante a la hora de replicar estudios de caso. Debido a que se selecciona para predecir resultados similares, o se replica teóricamente.

Selección de datos. Los métodos de recogida de datos son distintos de la fuente de datos. Por ejemplo, la decisión de recoger datos mediante entrevistas implica que es necesario tener claro cuales son las personas adecuadas para entrevistar. Además de garantizar que se entreviste a una selección de personas suficientemente representativa, es importante asegurar una cobertura suficiente de fuentes de datos. La cobertura debe permitir la triangulación de los datos, lo que aumentará la fiabilidad del estudio y la validez de las conclusiones.

Definición y almacenamiento de datos. Luego de definir los conceptos, y las medidas para los conceptos, los datos recogidos sobre estas medidas deberán almacenarse de forma organizada para su procesamiento y análisis.

Kitchenham y otros [144] proponen un método para especificar modelos de conjuntos de datos de software, considerando que los estudios de caso recopilan gran cantidad de datos complejos y diversos, por lo que es importante garantizar que estos datos se almacenan de forma organizada para mantener su integridad y que sean de fácil recuperación, lo que servirá para apoyar la triangulación y el desarrollo y mantenimiento de una cadena de pruebas.

Otro factor de complejidad es que en una misma fuente de datos física o electrónica pueden encontrarse varios elementos cualitativos de datos distintos. Por ejemplo, la transcripción de una entrevista puede proporcionar muchas citas específicas, y cada cita puede ser relevante para más de una hipótesis, proposición o pregunta de investigación. También existen fuentes de datos cuantitativas, que ya están estructurados facilitando el almacenamiento, por ejemplo, como un archivo de Excel o una base de datos.

Control y garantía de calidad. Para que el estudio de caso tenga validez y fiabilidad desde la fase de diseño, el investigador debe supervisar y evaluar diversos aspectos del diseño del estudio de caso para garantizar el rigor del uso artefactos del estudio de casos y la relevancia de los hallazgos.

Existen varios métodos para garantizar la calidad del diseño del estudio de caso. Entre ellos se encuentran los siguientes:

- El borrador del diseño del estudio de caso debe ser revisado por compañeros externos al proyecto, con el objetivo de tener retroalimentación.
- Realizar un estudio piloto para evaluar el diseño del estudio de casos y adaptarlo o mejorarlo de ser necesario.
- Solicitar la colaboración de observadores independientes que puedan aportar con otras perspectivas para fortalecer el estudio de caso.
- Revisar el progreso real del estudio de caso en comparación con el progreso planificado para determinar si hay diferencias significativas.

Cabe destacar que para mantener la calidad, validez y fiabilidad de la realización del estudio de caso se deberá efectuar ciertas comprobaciones durante todas las fases del estudio. Por ejemplo, una vez que se ha grabado y transcrito una entrevista, se puede pedir al encuestado que revise si los datos de la entrevista ofrecen una representación justa de su opinión.

Mantenimiento del protocolo de estudio de caso. El protocolo de estudio de caso establece los procedimientos de manera detallada sobre la recogida y análisis de los datos. El documento del protocolo de estudio de caso puede cambiar continuamente adaptándose a las decisiones proactivas de los investigadores y los cambios en el caso estudiado o su contexto.

El objetivo del protocolo es que sirva de guía a la hora de llevar a cabo la recogida de datos, evitando que el investigador olvide recoger datos que tenía previstos. También ayuda al investigador a decidir qué fuentes de datos utilizar y qué preguntas formular. Por otra parte, se puede poner a disposición de otros investigadores y personas relevantes para que den su opinión, permitiendo que el protocolo sea perfectible, reduciendo el riesgo de omitir fuentes de datos relevantes, preguntas de entrevista, incluso para clarificar la correspondencia entre las preguntas de investigación y los datos que se recogen. Por último garantiza que un estudio de caso flexible tenga rigurosidad. Logrando una importante fuente de información cuando el estudio de caso se divulgue para demostrar la garantía de calidad o para apoyar una réplica por parte de otros investigadores.

Brereton y otros [86] presentan una plantilla para definir un protocolo de estudio de caso, que consta de nueve secciones: 1) antecedentes, 2) diseño, 3) selección del caso, 4) procedimientos y funciones del estudio de caso, 5) recogida de datos, 6) análisis, 7) validez del plan, 8) limitaciones del estudio y 9) presentación de informes. Esta plantilla se muestra en la Tabla §3.3.

Informar y difundir el estudio de caso. Un elemento que también debe considerarse en el diseño de manera general es la planificación de la presentación

Nº	Sección	Contenido
1	Antecedentes	a. Identificar las investigaciones anteriores sobre el tema. b. Definir la pregunta principal de la investigación que se aborda en este estudio c. Identificar las preguntas de investigación adicionales que se abordarán.
2	Diseño	a. Identificar si se trata de un caso único o múltiple e integrar y mostrar los vínculos lógicos entre éstos y las preguntas de la investigación. b. Funciones de los miembros del equipo de investigación.
3	Selección	a. Criterios de selección de casos.
4	Procedimientos y funciones	a. Procedimientos que rigen los procedimientos de campo. b. Funciones de los miembros del equipo de investigación del estudio de caso.
5	Colección de Datos	a. Identificar los datos que se van a recoger. b. Definir un plan de recogida de datos.
6	Análisis	a. Identificar los criterios de interpretación de las conclusiones de los estudios de caso. b. Identificar qué elementos de datos se utilizan para abordar qué pregunta/subpregunta/-propuesta de investigación y como se combinarán los elementos de datos para responder a la pregunta c. Considere la gama de resultados posibles e identifique explicaciones alternativas de los resultados, e identifique cualquier información que sea necesaria para distinguir entre ellos. d. El análisis debe realizarse a medida que avanza la tarea de estudio del caso.

Tabla 3.3: Protocolo de estudio de caso según Brereton y otros [86]

de los resultados del estudio de caso, la difusión del protocolo, los artefactos y las experiencias de la realización del estudio. La presentación de los resultados es parte esencial del éxito de un estudio de caso. Los detalles de bajo nivel se informan y difunden a medida que el estudio de caso se desarrolla.

3.4.2. Preparación de la colección de datos

Con frecuencia en los estudios de casos de ingeniería de software, se suele disponer de una gran cantidad de datos brutos y datos alternativos comple-

mentarios, que luego habrá que darle tratamiento transcribiéndolos y codificándolos. Los datos se deberán organizar de forma estructurada para facilitar la tarea de depuración y análisis e incluso para asegurar la integridad de los mismos y garantizar la calidad del estudio.

Clasificación de Fuente de Datos. Según Lethbridge y otros [153], las técnicas de recogida de datos pueden dividirse en tres grados:

- **De primer grado.** Se trata de métodos, donde el investigador está en contacto directamente con los entrevistados y recoge los datos in situ; por ejemplo, entrevistas, los grupos focales, las encuestas y las observaciones
- **De segundo grado.** relacionado con métodos donde el investigador recolecta los datos sin interactuar directamente con los entrevistados. Este enfoque se adopta, por ejemplo, en la telemetría de proyectos de software [130] en el que el uso de las herramientas de ingeniería de software se supervisa automáticamente y se observa mediante una grabación de vídeo.
- **De tercer grado.** Se trata de métodos en los que el investigador analiza de manera autónoma artefactos de trabajo que ya están disponibles. Por ejemplo, se analizan las especificaciones de requisitos y los informes de fallos, o cuando se analizan los datos de las bases de datos de la organización.

Los métodos de primer grado suelen ser más costosos de aplicar que los de segundo o tercer grado. Una ventaja de los métodos de primer y segundo grado es que al investigador le resulta más fácil controlar ¿qué?, ¿cómo?, ¿de qué forma? y ¿en qué contexto se recogen los datos?. Con los métodos de tercer grado hay que tener particular atención, pues es probable que los datos se recogieran y registraran con una finalidad distinta a la del estudio, lo que pudiera dificultar al investigador evaluar los requisitos de validez y exhaustividad.

Selección de fuentes de datos. Es fundamental decidir qué datos recoger y cómo hacerlo. Como punto de partida tenemos el momento en que se deciden los objetivos y se definen las preguntas detalladas del estudio de caso; sin embargo, en el transcurso de desarrollo del estudio de caso, el investigador aprende más sobre el caso estudiado y podrá tener una mayor visión de los datos que se necesitan, los que están disponibles y los que son factibles de recoger para posteriormente analizar. Es probable que tengan que añadir iterativamente fuentes de datos a medida que el estudio avanza, esta es una

de las razones por las que se debe optar por un diseño flexible, para que el investigador pueda adaptar la recogida de datos a medida que se desarrolla el estudio.

Por otra parte es recomendable utilizar varias fuentes de datos, y varios tipos de fuentes de datos, para garantizar triangulación de datos, y para que las conclusiones sean más sólidas que las basadas en una sola fuente. También es importante tener en cuenta los criterios de los distintos roles, e investigar las diferencias. Se pueden extraer conclusiones analizando las diferencias entre datos de distintas fuentes. A continuación se detallan algunas fuentes de datos.

Entrevista. La recopilación de datos a través de entrevistas es una de las fuentes de datos más utilizadas e importantes en los estudios de casos de ingeniería de software. Casi todos los estudios de casos incluyen algún tipo de entrevista, ya sea para la recogida de datos primarios o como validación de otros tipos de datos.

Planificación de la entrevista. Una entrevista puede desarrollarse de varias maneras diferentes, normalmente un investigador habla con un entrevistado y le hace preguntas sobre el tema de interés del estudio de caso. Las preguntas de la entrevista suelen derivarse de las preguntas de la investigación.

Las preguntas de la entrevista pueden ser abiertas. Las preguntas abiertas admiten una amplia variedad de respuestas no tienen un alcance limitado. Por otro lado, las preguntas cerradas, es decir, que ofrecen un conjunto limitado de respuestas, son más fáciles de analizar.

Las entrevistas pueden dividirse en no estructuradas, semiestructuradas y totalmente estructuradas. En la Tabla §3.4 se muestra una descripción general de los tipos de entrevista, adaptados de [180]

Entrevista no estructurada. Las preguntas de la entrevista se formulan de forma abierta como intereses generales del investigador. Este tipo de entrevistas es más usada en los estudios exploratorios.

Entrevista semiestructurada. Las preguntas están planificadas, pero no se formulan necesariamente en el mismo orden en que están enumeradas. El orden dependerá de como se desarrolle la conversación en la entrevista. Este tipo de entrevistas permiten la improvisación y la exploración de las cuestiones planteadas en la conversación. Son habituales en los estudios de casos de ingeniería de software.

Entrevista totalmente estructurada. Todas las preguntas se planifican detalladamente de antemano y todas las preguntas se formulan en el mismo orden

	Estructurada	Semiestructurada	No estructuradas
Focos típicos	Los individuos experimentan cualitativamente el fenómeno	Los individuos experimentan cualitativa y cuantitativamente el fenómeno	El investigador trata de encontrar relaciones entre los constructos
Preguntas de entrevista	Guía de preguntas de la entrevista con áreas en las que centrarse	Mezcla de preguntas abiertas y cerradas	Preguntas cerradas
Objetivos	Exploratorio	Descriptivo y explicativo	Descriptivo y explicativo

Tabla 3.4: Descripción general de los tipos de entrevista [180]

que fueron planificadas. Con frecuencia la mayoría de las preguntas son cerradas y son similares a una encuesta basada en un cuestionario.

Durante la fase de planificación de un estudio de caso se decide a quién entrevistar. Es recomendable intentar que participen en la entrevista diferentes roles, personalidades, etc. El número de entrevistados óptimo se determina por el criterio de "saturación", es decir, cuando no se obtiene ninguna información o punto de vista nuevo de nuevos sujetos [193].

Sesión de la entrevista. En primer lugar, el investigador debe presentar los objetivos de la entrevista y del estudio de caso, y explicar cómo se utilizarán los datos obtenidos, garantizando la confidencialidad del entrevistado. Se debe realizar una serie de preguntas introductorias sobre la organización, el proyecto, etc. Una vez que se sienta más cómodo el entrevistado podremos plantear las preguntas principales que ocupan la mayor parte de la entrevista. El investigador debe resumir las principales conclusiones para confirmar que las opiniones del entrevistado han sido propiamente entendidas. Esta actividad se realiza para confirmar los datos obtenidos o corregirlos de ser necesario. Cuando sea conveniente hacerlo, y el entrevistado esté de acuerdo, el investigador puede grabar la entrevista.

Tras la sesión de entrevistas, suele ser necesario realizar una serie de actividades antes de iniciar el análisis. Una vez grabada la entrevista, se debe transcribir en texto antes de analizarla. Se puede solicitar al entrevistado que revise la transcripción, y se tendrá la oportunidad de que el entrevistado corrija, aclare o amplíe las respuestas que dio en la propia entrevista.

Grupos de enfoque. Las actividades que se realizan en grupo focal, son parecidas a las de la entrevista, la diferencia radica que en los grupos focales la recogida de datos se realiza con varias personas al mismo tiempo en una sesión que se asemeja a una entrevista [150, 177]. En la fase de planificación de la reunión del grupo focal hay que tener en cuenta que el tiempo en una reunión es limitado y que no es posible tratar demasiados temas o temas complejos en detalle.

Kontio y otros [150] aseguran que este tipo de técnica es útil en la investigación cualitativa y tiene algunos puntos fuertes:

- Descubrimiento de nuevas ideas, debido a la naturaleza del trabajo en grupo.
- Recuerdo asistido, debido a que el grupo es capaz de confirmar o rechazar hechos que habrían quedado ocultos en una entrevista individual.
- Rentabilidad, debido al ahorro de costos al realizar la entrevista a varias personas al mismo tiempo.
- Profundidad, debido al debate que podría existir dentro del grupo al contestar una pregunta.
- Beneficio empresarial para los participantes, ya que pueden establecer una red de contactos y comparar sus propios métodos de trabajo con los de los demás participantes.

Según Robson [177], otra ventaja es que existe un control de calidad natural, los entrevistados tienden a proporcionar comprobaciones y reaccionar ante las opiniones y la dinámica de grupo ayuda a centrarse en los temas más importantes. Es más probable que participen en este tipo de investigación personas que normalmente son reacias a ser entrevistadas de forma individual. Los grupos de discusión tienen sus puntos débiles, de acuerdo a Kontio y otros [150] y Robson [177]. Si la dinámica del grupo no funciona, puede ser difícil moderar la sesión. Además, se requiere que el moderador tenga una experiencia significativa tanto en el área temática como en la moderación de discusiones de grupo. La actividad de transcribir la sesión podría resultar complicado para, por ejemplo, identificar quién dijo algo dentro de la sesión y tener claro lo que se dijo.

El investigador debe pensar cuidadosamente en cómo tomar notas durante las sesiones. Otra limitante podría ser que los entrevistados no se sientan en confianza de expresar la realidad, aunque existan acuerdos de confidencialidad entre los participantes.

Observaciones. Se pueden realizar observaciones para investigar cómo se realiza una determinada tarea. Hay varias formas de realizar observaciones:

- **Controlar a un grupo de personas.** Con una grabadora de vídeo y analizar posteriormente la grabación.
- **Aplicar un protocolo de "pensar en voz alta".** El investigador hace repetidamente preguntas como "¿cuál es su estrategia?" y "¿qué está pensando?" para recordar a los sujetos que piensen en voz alta.
- **Observaciones en reuniones.** Son otro tipo, en el que los asistentes a la reunión interactúan entre sí y, por tanto, generan información sobre el tema estudiado.
- **Utilizar una herramienta de muestreo.** El objetivo es obtener datos y opiniones de los participantes.

Una de las ventajas de las observaciones es que pueden proporcionar una comprensión profunda; además, es muy utilizada cuando se sospecha que existe una desviación entre la visión "oficial" de los asuntos y la situación "real" [176]. Las observaciones producen una cantidad considerable de datos que hace que el análisis sea lento.

Datos de Archivo. Los datos de archivo se refieren a los datos que están disponibles en los archivos: 1) Actas de reuniones. 2) Documentos técnicos de diferentes fases de desarrollo, como especificaciones de requisitos, especificaciones de pruebas y código fuente. 3) Documentos de gestión, como los planes de proyecto. 4) Organigramas. 5) Registros financieros. 6) Informes que resumen las mediciones recogidas anteriormente.

Algunos datos de archivo como las actas de reuniones podrían contener una mezcla de datos cualitativos y cuantitativos, y el investigador debería separar estos tipos de datos de forma adecuada para poder analizarlos con las técnicas de análisis apropiadas.

En un estudio de caso, un documento puede incluir partes que son obligatorias según una plantilla organizativa pero de menor interés y excluir datos relevantes para un estudio. Cuando faltan datos deben combinarse con otras técnicas de recogida y análisis de datos, por ejemplo, cuestionarios, para obtener los datos históricos que faltan [119].

Es difícil para el investigador evaluar la calidad de los datos. La calidad se puede mejorar investigando el propósito de la recogida de datos original y entrevistando a personas relevantes de la organización. Un tipo de datos de archivo especialmente valioso son las reuniones periódicas de un proyecto.

Métrica. Las técnicas de recogida de datos que hemos mencionado se centran sobre todo en los datos cualitativos. Sin embargo, los datos cuantitativos también son importantes en un estudio de caso. La medición de software es el proceso de representar entidades de software, como procesos, productos y recursos, en cifras cuantitativas [117]. Los datos recogidos pueden definirse y recogerse para el propósito del estudio de caso, o bien pueden utilizarse datos ya disponibles en un estudio de caso.

En la fase de definición, es cuando se debe decidir qué datos se van a recoger, que sean de interés para la investigación, hay que tener especial cuidado pues decidir recoger datos que luego no se analizarán supone dedicar un esfuerzo innecesario. Existen técnica de medición orientada a objetivos, como el método Goal Question Metric (GQM) [73, 204].

En el método GQM primero se formulan los objetivos, se mejoran las preguntas relacionándolas con los objetivos y, finalmente, se definen las métricas en función de las preguntas. Por lo tanto, las métricas se obtienen en función de los objetivos formulados para la actividad de medición, lo que supone que se recogen las métricas necesarias. Ésto implica que el investigador puede controlar la calidad de los datos recogidos y que no se recogen datos innecesarios.

3.4.3. Análisis de la colección de datos

Después de haber recogido los datos, se efectúa el análisis de los mismos. Es decir, en esta fase se utilizan los datos para comprender lo que realmente sucede en el caso estudiado buscando patrones en los datos. El análisis de datos difiere entre el análisis de datos cuantitativos y cualitativos.

Análisis de datos en la investigación flexible. Como la investigación de estudios de casos es un método de investigación flexible, se suelen utilizar métodos de análisis de datos cualitativos [185]. El objetivo básico del análisis es derivar conclusiones de los datos, manteniendo una cadena clara de pruebas. La cadena de pruebas significa que un lector debe ser capaz de seguir la derivación de los resultados y las conclusiones a partir de los datos recogidos [211]. Para garantizar la cadena de prueba se debe presentar información suficiente de cada paso del estudio y de las decisiones importantes tomadas por el investigador.

El análisis de la investigación cualitativa se caracteriza por realizarse en paralelo a la recogida de datos de manera iterativa. Esta técnica sistemática continua es necesaria pues puede revelar y solucionar la necesidad de recoger datos adicionales actualizando la instrumentación utilizada; además, permite

presentar una cadena de pruebas.

El análisis cualitativo se lleva a cabo en una serie de pasos, basados en las líneas guía de Robson [177], que pueden repetirse. Estos pasos se describen en la Figura §3.3.

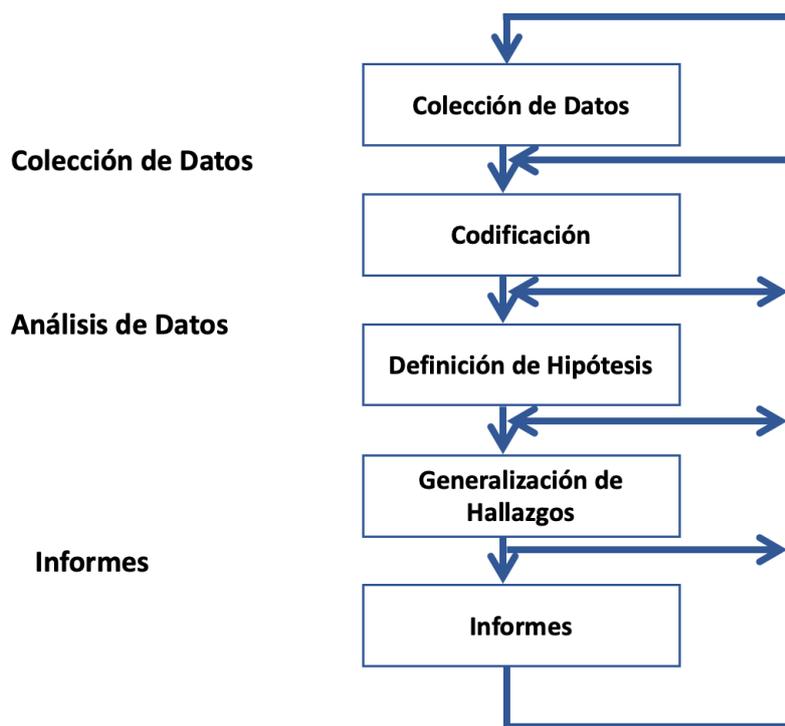


Figura 3.3: Etapas del análisis de datos [177]

Las etapas que se muestran la Figura §3.3 es la representación de un conjunto de pasos que se ejecutan de forma iterativa y se afectan mutuamente. En primer lugar, se codifican los datos; es decir, las partes del texto reciben un código que representa un determinado tema. La codificación puede acompañarse de comentarios y reflexiones del investigador y los códigos pueden formar una jerarquía de códigos y subcódigos. Para trabajar en la transcripción es necesario algún tipo de herramienta de apoyo al texto, para editar y anotar texto y trabajar con codificaciones; es posible utilizar editores de texto estándar o hoja de cálculo sin embargo para facilitar el trabajo de análisis existen varias herramientas específicas para el análisis cualitativo que son especializadas en el análisis de datos, teniendo funcionalidades específicas para la codificación, la anotación, etc. Por ejemplo, NVivo1 y Atlas2 son herramientas comerciales disponibles para el análisis de datos cualitativos.

Una vez realizada la codificación, el investigador puede recorrer el material para identificar un primer conjunto de hipótesis. La actividad en la que se identifican las hipótesis requiere la capacidad de generalizar, y pensar de forma innovadora.

Mantener un enfoque estructurado es importante en el análisis cualitativo. Es decir, se debe planificar de antemano para el análisis, registrar las decisiones tomadas por el investigador, conservar todas las versiones de la instrumentación y se debe registrar y documentar explícitamente los vínculos entre los datos, los códigos y anotaciones. Sin embargo, el análisis puede llevarse a cabo en diferentes niveles de formalismo. Robson [177] menciona los siguientes enfoques:

- **Enfoques de inmersión.** Se trata de un enfoque poco estructurado, que dependen más de la intuición y de las habilidades interpretativas del investigador.
- **Enfoques de edición.** Incluye pocos códigos previos, la mayoría de los códigos se definen a partir de las conclusiones del investigador durante el análisis.
- **Enfoques de plantillas.** Es más formal e incluye con antelación preguntas de investigación.
- **Enfoques cuasi-estadísticos.** Están muy formalizados.

Runeson y otros [180] indican que los enfoques de edición y de plantillas son adecuados en los estudios de casos de ingeniería de software.

Relación con las hipótesis. Cuando se trabaja con hipótesis, hay dos enfoques en el análisis de datos. Las técnicas de generación de hipótesis pueden utilizarse con fines exploratorios, y las técnicas de confirmación de hipótesis pueden utilizarse con fines explicativos.

- **La generación de hipótesis.** Tiene por finalidad encontrar hipótesis a partir del análisis de los datos. El investigador debe tratar de ser imparcial y estar abierto a cualquier hipótesis que se encuentre en los datos.
- **Las técnicas de confirmación de hipótesis.** Son técnicas que pueden utilizarse para confirmar que una hipótesis está respaldada; por ejemplo, mediante el análisis de más datos. La triangulación y la replicación son ejemplos de enfoques para la confirmación de hipótesis [185].

Técnicas. Durante el proceso descrito anteriormente hay una serie de técnicas y actividades que pueden ser útiles. Yin [211] identifica las siguientes técnicas específicas:

- **Comparación de patrones.** Con esta técnica se compara un patrón observado de forma empírica con un patrón de predicado. Si coinciden, se concluye que el patrón es verdadero. Se puede investigar los casos y decidir cuál de las explicaciones describe mejor los casos.
- **Construcción de explicaciones.** En este tipo de análisis se identifican patrones basados en relaciones causa-efecto y se buscan explicaciones subyacentes.
- **Análisis de series temporales.** Indica un conjunto de acontecimientos que ocurren durante un tiempo determinado.
- **Modelos lógicos.** El análisis puede realizarse a partir de modelos lógicos que expliquen series más complejas de relaciones causa-efecto.
- **Síntesis de casos cruzados.** Este tipo de análisis puede llevarse a cabo si se ha realizado un estudio de casos múltiples; en ese caso, se pueden comparar los distintos casos.

Estas técnicas sirven para decidir cómo hacer el análisis en un determinado estudio de caso e incide en la posibilidad de extraer conclusiones interesantes de los datos.

Herramientas de soporte. El análisis cualitativo involucra trabajar con texto en forma de transcripciones de entrevistas, documentos de proyecto, etc. Para manejar este texto es necesario algún tipo de herramienta de apoyo. Se puede utilizar editores de texto estándar, pero también es posible utilizar una hoja de cálculo. La capacidad de clasificación de una hoja de cálculo puede ser útil en el análisis. Sin embargo, hay que considerar que en ocasiones puede ser difícil decidir cómo codificar el material si hay que dar más de un código a un fragmento de texto, siendo necesario el uso de herramientas específicas para el análisis cualitativo que faciliten la codificación.

Validez. La validez de un estudio demuestra la credibilidad de los resultados, debe tratarse durante todas las fases del estudio de caso, se evalúa después de la fase de análisis. Existen diferentes formas de clasificar los aspectos de la validez y las amenazas a la validez.

Validez del constructo. Refleja si las medidas operativas que se estudian representan realmente lo que el investigador tiene en mente y lo que se investiga según las preguntas de la investigación.

Validez interna. Se debe prestar especial atención cuando se examinan las relaciones causales. Es decir, cuando el investigador evalúa si un factor afecta a un factor investigado, existe el riesgo de que el factor investigado también se vea afectado por un tercer factor y el investigador no lo este considerando.

Validez externa. Este aspecto de la validez tiene relación con el interés para terceras personas de la generalización de las conclusiones del caso de estudio o no existe una muestra estadísticamente representativa. Sin embargo, en los estudios de casos el objetivo es generalizar de manera analítica los resultados para casos que tienen características comunes, presentando hallazgos relevantes.

Fiabilidad. Se refiere a que si otro investigador realiza el mismo estudio posteriormente, el resultado debería ser el mismo.

Si se diseña cuidadosamente el estudio, se recogen los datos de la manera adecuada y se analizan de forma correcta, se reducirán las amenazas a la validez del estudio. Robson [177] enumera formas más concretas de aumentar la validez. Algunos enfoques importantes son los siguientes:

Participación prolongada. Si el estudio conlleva un largo periodo de tiempo, podría implicar un impacto positivo debido a que las personas de la organización estudiada podrían confiar en el investigador, y él podría acceder a los datos adecuados, etc. Sin embargo, existe el riesgo de que el investigador pierda independencia o se vuelva parcial por estar muy involucrado en la organización.

Triangulación. Se trata de un enfoque importante y aplicado con frecuencia para aumentar la validez de un estudio, con frecuencia el uso de datos de diferentes fuentes permite identificar las contradicciones entre las distintas fuentes.

Informe de los compañeros. Al realizar un estudio de caso involucrando un grupo de investigadores se reduce el riesgo de ser sesgado por la visión de un solo investigador. Otra forma es implicar investigadores en la revisión de documentos como el diseño de la investigación.

Revisión por parte de los miembros. A menudo es posible que el material sea revisado por los participantes en el estudio. Por ejemplo, tras realizar las transcripciones de las entrevistas se puede recibir retroalimentación que ayude a aclarar o mejorar la recogida de datos. También es posible que los entrevistados revisen el material resultante del análisis, como los resultados y hallazgos encontrados al igual que las recomendaciones, independientemente de estar o no de acuerdo con el análisis.

Análisis de casos negativos. La formulación de explicaciones y teorías alternativas en el análisis puede mejorar el análisis de los datos.

Seguimiento de la auditoría. Se debe llevar un registro de todos los datos y el material de forma sistemática, cuando se presenta una cadena de pruebas es valioso realizar el seguimiento de todas las versiones.

3.4.4. Informe

Para que un estudio de caso sea exitoso debe comunicarse por lo menos las conclusiones, el protocolo del estudio de caso, los artefactos utilizados, los datos recogidos durante el estudio, sustentados en la aplicación de responsabilidad ética con los datos de las entrevistas.

Es decir se debe informar el protocolo del estudio de caso y los instrumentos de investigación relacionados. Poner estos documentos a disposición del público ayudará a juzgar la credibilidad del estudio de caso, además de permitir la reproducción del estudio. En ocasiones, los detalles se suelen informar por separado, por ejemplo, como informe técnico.

Al informar de los artefactos del estudio de caso, por ejemplo, los datos brutos y refinados que se recogieron y generaron del estudio de caso. Los datos brutos casi siempre se depuran, por razones éticas y de logísticas en ocasiones no es factible poner los datos brutos a disposición del público. Sin embargo, poner los artefactos a disposición de otras personas les permite replicar el análisis de manera independiente o realizar nuevos análisis. Poner los artefactos a disposición de otros investigadores permite a éstos evaluar la calidad y la cantidad de esos datos y, por tanto, su enfoque a otros problemas de investigación.

Para los investigadores que efectúen un estudio de caso, existen motivaciones esenciales para divulgar el estudio. Además de los beneficios para la comunidad investigadora y la sociedad en general, informar el estudio de caso puede ayudar a otros a:

- Comprender mejor lo que constituyó el estudio de caso.
- Juzgar si se deben incluir los resultados del estudio en un meta-análisis, tal como indican Pickard y otros [171] o en una revisión sistemática [138, 139] y cómo hacerlo.
- Entender el alcance de la pertinencia de las conclusiones del estudio.

- Tomar decisiones mas informadas sobre cuándo, cómo y dónde realizar nuevos estudios de casos, y qué deben investigar específicamente esos estudios.

La comunicación de los resultados de un estudio de caso y la difusión de los artefactos de ese estudio debe tener un equilibrio entre el deber de informar y el objetivo del investigador de publicar sus resultados, mantener la confidencialidad y la integridad de la empresa y de los participantes [67].

Cada informe escrito del estudio de caso debe tener en cuenta su longitud contenido y estructura y el público o audiencia al que va dirigido para adaptar el informe a las necesidades. Normalmente los interesados suelen ser: 1) El patrocinador o patrocinadores del estudio de caso. 2) Las partes interesadas y participantes en el estudio de caso. 3) Grupo de profesionales. 4) Órganos gubernamentales y políticos. 5) La comunidades de investigadores. 6) Las comunidades educativas.

El momento de informar y difundir la información del estudio de caso dependerá del público al que va dirigido. Es decir, la elaboración de informes no sólo tiene lugar una vez que ha concluido el análisis del estudio de caso, sino que con frecuencia se lo realiza durante el diseño y la realización del estudio de caso.

Robson [177] define un conjunto de características para un informe académico de contenido genérico de estudio de caso:

- Especificar de qué trata el estudio de caso.
- Informar claramente del caso estudiado.
- Suministrar una "hilo argumental de la investigación" para que el lector pueda comprender ¿qué se hizo?, ¿por quién? y ¿cómo se hizo?
- Proporcionar los datos básicos de una forma enfocada, para que el lector pueda confiar en que las conclusiones son razonables.
- Enlazar las conclusiones del investigador y situarlas en un contexto que les afecte.

A continuación se presenta una estructura propuesta para los informes de los estudios de caso utilizando la estructura lineal-analítica basada en Jedlitschka y Pfahl [129] y Kitchenham y otros [137]

Encabezado de sección	Subsecciones
Título	
Autoría	
Resumen estructurado	
Introducción	Enunciado del problema Objetivos de la investigación Contexto
Trabajo relacionado	Estudios anteriores Teoría
Diseño del estudio de caso	Preguntas de investigación Selección de casos y sujetos Procedimiento(s) de recogida de datos Procedimiento(s) de análisis Procedimiento(s) de validez
Resultados	Descripción de casos y temas, que abarcan la ejecución, el análisis y cuestiones de interpretación. Subsecciones, que pueden estar estructuradas, por ejemplo, según el esquema de codificación, cada una de las cuales vincula las observaciones con las conclusiones.
Conclusiones y trabajos futuros	Resumen de los resultados Relación con las pruebas existentes Impacto/ implicaciones Limitaciones Trabajos futuros
Agradecimientos	
Referencias	
Apéndices	

Tabla 3.5: Estructura de informe [129]

El lugar en el que se debe informar depende, una vez más, del sector interesado en conocer el resultado del estudio de caso. Para informar a la comunidad académica, se puede hacer a través de revistas revisadas por pares, conferencias internacionales y nacionales, talleres, tesis e informes técnicos. Para informar en línea se puede hacer a través de blogs de investigación. También se puede informar a la industria, por ejemplo, con revistas y periódicos profesionales, y conferencias de la industria.

Los requisitos éticos, profesionales y legales pueden imponer restricciones a la hora de informar. Los investigadores deben tener derecho a mantener su integridad y adherirse a los procedimientos acordados durante el estudio del caso teniendo mucho cuidado a la hora de decidir lo que va a informar, hay que considerar que la información no sólo es sensible cuando se publica fuera de la empresa. Los datos recogidos y las opiniones expresadas por los empleados pueden ser sensibles para otros participantes y partes interesadas dentro de la empresa.

3.5. Experimentos

Los experimentos se utilizan cuando queremos controlar la situación y deseamos dirigir el comportamiento de forma directa, estricta y sistemática. Además, los experimentos implican más de un tratamiento para comparar los resultados que se obtengan. Se puede realizar en un laboratorio bajo condiciones controladas, simulando su apariencia en el mundo real. También se pueden realizarse en el campo en un contexto de la vida real. El nivel de control es más difícil en una situación del mundo real.

Los experimentos pueden estar vinculados hacia el ser humano o hacia la tecnología. En los experimentos orientados a humanos aplica diferentes tratamientos a los objetos y tiene menos control que el orientado a la tecnología, ya que los humanos se comportan de manera diferente en distintas ocasiones, mientras que el comportamiento de las herramientas en su mayoría es determinista.

En un experimento, se identifican los contextos de interés y las variables. Es decir, se seleccionan los objetos que representan una variedad de características que son típicas de la organización en la que se lleva a cabo el experimento y se diseña la investigación de modo que se mida más de un valor para cada característica.

El diseño del experimento debe hacerse de modo que los objetos involucrados representen todos los elementos de interés. Se puede considerar la situación actual como la línea de base que representa un valor de la variable independiente, y la nueva situación será la que se evaluará, describiendo cómo la situación evaluada difiere del control.

Los experimentos son apropiados para investigar diferentes aspectos [126, 190] entre ellos: 1) Probar teorías existentes. 2) Confirmar la sabiduría convencional. 3) Comprobar relaciones existentes. 4) Evaluar la precisión de los modelos. 5) Validar medidas.

Pasos del proceso experimental. Ejecutar un experimento implica varias fases, mostradas en la Figura 3.4 y detalladas en la Figura 3.5 : 1) Alcance. 2) Planificación. 3) Operación. 4) Análisis e interpretación. 5) Presentación de resultados.

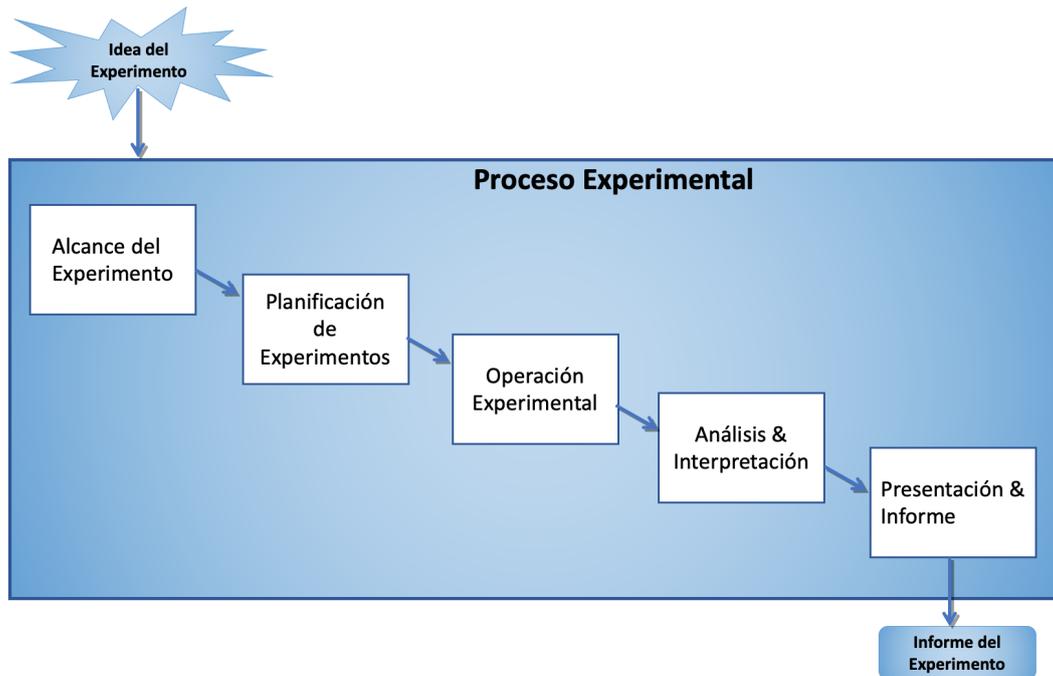


Figura 3.4: Fases de ejecución de un experimento [210]

3.5.1. Alcance del experimento

El propósito de la fase de definición del alcance del experimento es determinar los objetivos del experimento de acuerdo con un marco definido. El alcance determina la base para el experimento, aclara ¿por qué se lleva a cabo el experimento?.

3.5.2. Planificación del experimento

La planificación se encarga de preparar cómo se llevará a cabo el experimento. La planificación deberá ser controlada, una mala planificación incidirá en una mala ejecución y obtención inadecuada de datos lo que comprometería la integridad del experimento. La fase de planificación de un experi-

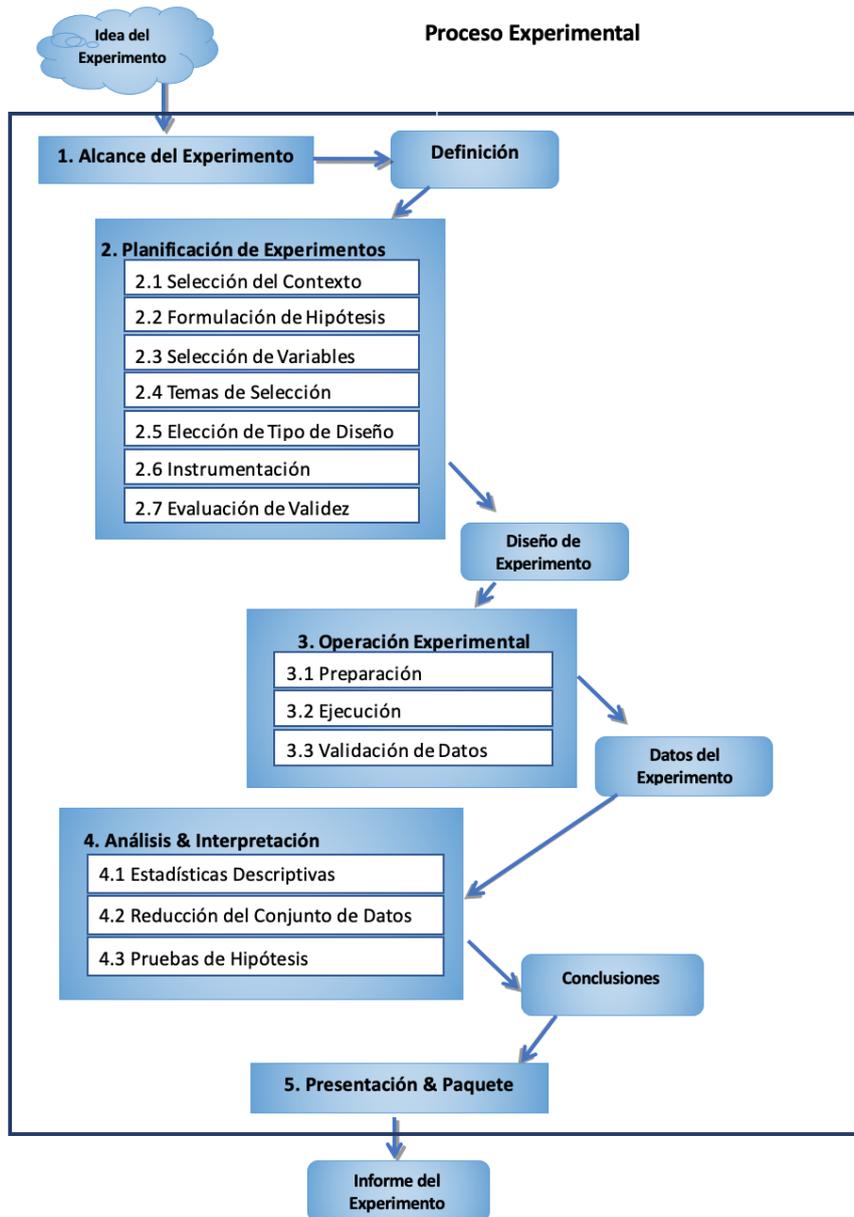


Figura 3.5: Proceso de un experimento [210]

mento se puede dividir en siete pasos: 1) Selección del contexto. 2) Formulación de hipótesis. 3) Selección de variables. 4) Temas de selección. 5) Elección de tipo de diseño. 6) Instrumentación. 7) Evaluación de la validez.

Selección del contexto. Fundamentado en la definición del objetivo del experimento, la selección de contexto se encarga de seleccionar el entorno en el que se ejecutará el experimento.

El contexto del experimento se puede caracterizar según cuatro dimensiones: 1) Fuera de línea versus en línea. 2) Estudiante vs profesional. 3) Juguete versus problemas reales. 4) Específico frente a general.

Formulación de hipótesis. En esta etapa se debe formalizar hipótesis para definir el experimento. Hay que formular dos hipótesis: hipótesis nula e hipótesis alternativa.

- **La hipótesis nula** establece que no existen tendencias o patrones subyacentes reales en el entorno del experimento. Será la hipótesis que el experimento quiere rechazar con la mayor significancia posible.
- **La hipótesis alternativa** es la hipótesis a favor de la cual se rechaza la hipótesis nula.

Existe una serie de pruebas estadísticas que se utilizan para evaluar el resultado de un experimento. La hipótesis se puede refinar cuando hemos elegido la variable dependiente.

Selección de variables. Se debe elegir las variables dependientes e independientes del experimento.

- **Las variables independientes** son aquellas que podemos controlar y cambiar en el experimento, deben tener algún efecto sobre la variable dependiente y deben ser controlables. Cuando se elige las variables independientes también se debe elegir las escalas de medida, el rango de las variables y los niveles específicos en los que se realizarán las pruebas.
- **La variable dependiente** es con frecuencia sólo una y se deriva directamente de la hipótesis. Normalmente se la mide a través de una medida indirecta. Esta medida indirecta debe validarse cuidadosamente, porque afecta el resultado del experimento.

Al elegir la variable dependiente, también se determina la escala de medición y el rango de las variables. Las elecciones de las variables independientes y dependientes se efectúa a la vez.

Selección de sujetos. La selección de sujetos es importante cuando se realiza un experimento, también se denomina muestra de una población. Su importancia radica al momento de generalizar los resultados a la población deseada.

El muestreo de la población puede ser una muestra probabilística o no probabilística [210].

1. Muestreo probabilístico

- **Muestreo aleatorio simple:** Los sujetos se seleccionan de una lista de la población al azar.
- **Muestreo sistemático:** Se elige al azar el primer sujeto de la lista de la población y luego se selecciona cada n-ésima persona de la lista.
- **Muestreo aleatorio estratificado:** La población se secciona en una serie de grupos o estratos con una distribución conocida entre los grupos. Luego se aplica un muestreo aleatorio dentro de los estratos.

2. Muestreo no probabilístico

- **Muestreo por conveniencia:** Se seleccionan como sujetos las personas más cercanas y convenientes.
- **Muestreo por cuotas:** Este tipo de muestreo se utiliza para obtener sujetos de varios elementos de una población. El muestreo de conveniencia se utiliza normalmente para cada elemento.

Elección del tipo de diseño. Para que el experimento cumpla el propósito de investigación, se debe planifica y diseñar cuidadosamente. Los análisis estadísticos que podemos aplicar dependerán del diseño elegido y de las escalas de medida utilizadas.

El diseño de un experimento describe cómo se organizará y ejecutará las pruebas. Para diseñar el experimento, debemos hacerlo en función de la hipótesis, para decidir que análisis estadístico tenemos que realizar para rechazar la hipótesis nula. Durante el diseño se determina cuántas pruebas tendrá el experimento, un diseño adecuado permite la replicación.

Instrumentación. El objetivo general de la instrumentación es proporcionar medios para realizar y monitorear el experimento sin afectar el control. Los instrumentos que se suele utilizar son objetos, guías e instrumentos de medición.

En los experimentos intensivos en humanos, los datos generalmente se recopilan a través de formularios manuales o en entrevistas. La planificación de la instrumentación se encarga de preparar y validar formularios y preguntas de entrevista con personas que tengan experiencia y habilidades similares a las de los participantes del experimento.

Al planificar un experimento, es importante elegir objetos que sean apropiados para la ejecución del experimento. También se debe preparar pautas para

los métodos del experimento; es decir, instrucciones guías para los participantes y capacitarlos en los métodos que se utilizarán en el experimento.

Evaluación de la validez. Es importante considerar desde la fase de planificación una validez adecuada de los resultados del experimento. Es decir, los resultados deben ser válidos para la población de la que se extrae la muestra, se debe generalizar los hallazgos a una población más grande. Se dice que los resultados tienen una validez adecuada si son válidos para la población a la que nos gustaría generalizar. Por otro lado, si se deben sacar conclusiones más generales, la validez debe cubrir un alcance más general también.

Existen diferentes tipos de amenazas a la validez en un experimento. 1) Campbell y Stanley [89] definen dos tipos, amenazas a la validez interna y externa . 2) Cook y otros [102] definen validez de conclusión, interna, de constructo y externa

3.5.3. Operación del experimento

Después de diseñar y planificar un experimento, se pasa a su ejecución. Es decir, los el experimento se aplican a los sujetos para recolectar los datos de análisis.

La fase operativa de un experimento consta de tres pasos: 1) Preparación: Se eligen los sujetos y se preparan formularios para el experimento. 2) Ejecución: Los sujetos realizan sus tareas de acuerdo con diferentes tratamientos y se recopilan los datos. 3) Validación de datos: Se validan los datos recopilados.

Preparación. Antes de la ejecución propiamente del experimento, hay que realizar dos actividades. La primera es seleccionar e informar a los participantes, y la segunda es preparar material como formularios y herramientas. Cuando se seleccionan a los participantes adecuados, es necesario:

- **Obtener el consentimiento.** Los participantes deben estar de acuerdo a participar en el experimento y estar conscientes de los objetivos de la investigación. Es importante informar a los participantes cómo se utilizará y publicará el resultado del experimento.
- **Resultados sensibles.** Si los resultados que se obtengan del experimento son sensibles para los participantes, se debe asegurar que los resultados obtenidos se mantendrán confidencialmente.
- **Incentivos.** Una forma de motivar a los participantes para que tengan predisposición de participar en un experimento, es ofrecer algún tipo de

incentivo.

- **Divulgación.** Divulgar el experimento implica revelar todos los detalles del experimento de la forma más clara posible. En caso de divulgación parcial, la situación debe explicarse y revelarse a los participantes lo antes posible.

Antes de que se pueda ejecutar el experimento, todos los objetos del experimento, las pautas para el experimento y los formularios y herramientas de medición deben estar preparados.

Ejecución. El experimento se puede ejecutar de diferentes formas. Algunos experimentos, como los experimentos de inspección simples, pueden llevarse a cabo en una ocasión cuando todos los participantes están reunidos. Otros experimentos se ejecutan en el transcurso de un período de tiempo más largo y es imposible que el experimentador intervenga en todos los detalles del experimento y la recogida de datos.

Validación de datos. Después de haber recopilado datos, el experimentador debe verificar que los datos sean coherentes y que se hayan recopilado correctamente, en caso de detectar errores se deberá eliminar los datos antes del análisis o tratarlos como datos atípicos.

3.5.4. Análisis e interpretación

Los datos obtenidos del experimento se deberán analizar para su posterior interpretación. Luego de recopilar datos experimentales se podrá sacar conclusiones, para ello debemos interpretar los datos del experimento. La interpretación cuantitativa se puede realizar en tres pasos.

Estadísticas descriptivas. Los datos se caracterizan mediante estadísticas descriptivas, que visualizan la tendencia central, la dispersión, medidas de dependencia y visualización gráfica.

Reducción del conjunto de datos. Se excluyen los puntos de datos anormales o falsos, reduciendo así el conjunto de datos a un conjunto de puntos de datos válidos.

Pruebas de hipótesis. Los datos se analizan mediante pruebas de hipótesis, donde las hipótesis del experimento se evalúan estadísticamente, en un nivel de significación determinado.

3.5.5. Presentación de resultados

Cuando se finaliza un experimento, los hallazgos encontrados objeto del análisis efectuado pueden presentarse mediante paquete para replicar el experimento o como material educativo, artículo para conferencias o revista, mediante informe técnico para los tomadores de decisiones.

3.6. Resumen

En este capítulo hemos presentado tres métodos empíricos con sus principales conceptos, metodologías, aspectos. Dos de estos métodos se utilizan en esta tesis. En concreto, un estudio de caso §6 y una encuesta §7. Se puede concluir que para la ejecución de estos métodos se requiere una cuidadosa investigación y planificación y los métodos suelen ser complementarios para obtener más fuentes de información que conducirán a decisiones más informadas en ingeniería de software.

Parte III

CONTRIBUCIONES

Capítulo 4

Motivación

En algún lugar, algo increíble está esperando ser conocido.

Carl Sagan

El objetivo de este capítulo es presentar los problemas de evidencias empíricas en SPLE y motivar la necesidad de solución propuestas en esta tesis. En la Sección §4.1 se presenta una introducción evidenciando cuáles son los problemas que aborda el trabajo presentado en la tesis. En la Sección §4.2 se describen los problemas que se desarrollan entorno a la falta de estudios que sintetizan la literatura existente en evidencias empíricas en SPLE y la falta de propuestas que estudien cómo las empresas gestionan la variabilidad en sus productos indistintamente de la adopción de la ingeniería de línea de productos de software (SPLE). En la Sección §4.3 analizamos las propuestas actuales que abordan las problemáticas planteadas. En la Sección §4.4 se presenta un resumen de las propuestas existentes analizando el alcance que han tenido para resolver las problemáticas planteadas y se argumentan las contribuciones presentadas en esta tesis. Finalmente, resumimos este capítulo en la Sección §4.5.

4.1. Introducción

Como se detalló en el Capítulo §2, las líneas de productos de software (SPL) han existido desde finales de la década de 1970 y han crecido en importancia por sus beneficios para gestionar la variabilidad del producto [63, 122, 181].

Por otra parte en el Capítulo §3 se presentó los métodos empíricos mayormente utilizados en software, evidenciando su crecimiento en la literatura reportada en relación con las SPLE.

A pesar del incremento de estudios empíricos en SPLE, hay debilidades que aún no ha sido completamente resuelta. En la Sección §4.2 se describen los problemas que se atienden en la tesis.

4.2. Problemas

Actualmente existe un gran número de trabajos que aborda temas de ingeniería de líneas de producto software. De acuerdo a Azanza y otros [68], la mayoría de estos trabajos se han informado principalmente en EE.UU. y Alemania (50%). Sin embargo no existe un estudio que sintetice y evalúe la calidad de los estudios empíricos reportados en SPLE, provocando el desconocimiento de datos sobre experiencias de otros investigadores en evidencias empíricas del área.

La falta de información sobre: (i) en qué contextos se han aplicado los estudios empíricos en SPL, (ii) qué fenómenos se han informado en términos de beneficios obtenidos, problemas encontrados y lecciones aprendidas o (iii) cuál es la calidad y evolución de los estudios empíricos en SPLE reportados, hace que sea complicado identificar en que áreas hay menos trabajos de investigación o de menor alcance. Identificar estas brechas puede servir de guía a los investigadores para orientar su trabajo y enriquecer el framework SPLE.

Por otra parte sabemos que las líneas de productos de software (SPL) tienen como objetivo la reutilización sistemática de los activos de software y derivar productos a partir de esos activos. Aunque son numerosas las empresas que han adoptado la SPLE, no siempre es posible manejar la evolución de las líneas de producto software directamente a través de estos activos reutilizables. Entre los motivos que llevan a esta situación están, por ejemplo, la premura para la comercialización o las correcciones de errores aceleradas, lo que provoca que la evolución suceda primero a nivel del producto y luego se fusione en la plataforma SPLE donde residen los activos principales [109].

Cabe mencionar que también existe un número importante de empresas que no utilizan el paradigma de SPLE. Sin embargo, en su afán de ofrecer a sus clientes versatilidad en sus productos, han empleado mecanismos que ayudan a gestionar la variabilidad con la finalidad de satisfacer las exigencias de sus clientes.

Un reto importante para estas empresas que ofrecen un producto software a distintos clientes, es crear eficientemente múltiples variaciones del producto y gestionar las diferentes versiones y evolución del producto. Por ello, no es raro encontrarse con problemas, tales como:

- Procesos pocos ágiles para personalizar las solicitudes de nuevas variaciones del producto provenientes del análisis del negocio.
- Administración compleja y costosa al realizar actividades de desarrollo en paralelo que comparten software común.
- Código fuente poco robusto, que dificulta el mantenimiento reutilización y personalización de variaciones de nuevos productos.

Los problemas mencionados, desembocan en otros subproblemas como la gestión poco efectiva de artefactos o componentes más personalizados o el desconocimiento de hasta qué punto se está reutilizando el código de artefacto central para un producto determinado. Sin embargo, las empresas que no utilizan el paradigma SPLE gestionan de alguna manera la variabilidad en sus productos.

En conclusión en esta tesis se aborda dos problemas:

1. La falta de un estudio que sintetice en qué contextos se han aplicado los estudios empíricos en SPL, evalúe la calidad y muestre la evolución de dichos estudios
2. El desconocimiento de como las empresas que no implementan el paradigma de SPLE ejecutan practicas para gestionar la variabilidad en sus productos.

4.3. Análisis de soluciones propuestas

La radiografía de los problemas mencionados, nos ha permitido centrar nuestros esfuerzos en proponer contribuciones que permitan aportar en la disminución de las brechas de investigación mencionadas.

4.3.1. Estudios empíricos en SPL

No hemos encontrado ningún estudio que sintetice los estudios empíricos en SPLE. Se considera que un estudio que resuma los estudios que han utilizado evidencias empíricas en SPLE con intervención humana, permitirá evaluar la calidad y conocer el alcance de estos estudios a lo largo del tiempo. Sin duda ayudará a los investigadores a identificar las brechas de investigación existentes para ser atendidas, lo que incidiría en el fortalecimiento del marco de trabajo de SPLE.

4.3.2. Gestión de la variabilidad

No hemos encontrado en la literatura ningún estudio que haya puesto a disposición de la comunidad los materiales empleados para aplicar un método empírico que estudie las prácticas que realizan las empresas para gestionar la variabilidad en sus productos. Se considera que un estudio de este tipo que relacione las prácticas que realizan las empresas con los procesos del marco SPLE, sin duda ayudaría a robustecer el marco de SPLE. Incluso se podría proponer una metodología que permita transicionar al paradigma SPLE.

En esta tesis se presenta una contribución que ayudaría a orientar a los investigadores para que realicen nuevos aportes al marco de las líneas de productos de software apalancando los procesos donde exista menos literatura de evaluaciones empíricas. A través del trabajo presentado en el Capítulo §5, se muestra el alcance, quiénes, cuándo, dónde y se evalúa la calidad de los métodos utilizados en estudios empíricos reportados en SPLE.

Por otra parte para abordar la segunda problemática analizada se presentan dos contribuciones tratadas en los capítulos §6 y §7, respectivamente. Ambos trabajos buscan conocer cómo gestionan la variabilidad en sus productos las empresas independientemente de la adopción del paradigma SPLE.

4.4. Discusión

A continuación, revisamos en la literatura algunas de los trabajos relacionados y que motivan las contribuciones de esta tesis y que se presentan en los capítulos §5, §6, y §7.

En la literatura encontramos que los investigadores abordan diferentes enfoques y los analizamos observando que no cubren los problemas menciona-

dos en §4.2.

4.4.1. Estudios empíricos en líneas de productos de software

Se ha revisado los trabajos relacionados con estudios sistemáticos de SPLE. Se encontró un grupo de estudios que hicieron varios esfuerzos para analizar sistemáticamente varios aspectos de SPLE a través de revisiones sistemáticas de la literatura (SLR) y estudios de mapeo sistemático (SMS). La Tabla §4.1 muestra un resumen de estos estudios, que se han tomado como referencia para nuestro trabajo, complementándolos o respondiendo a ciertos vacíos de investigación que resultaron del análisis de estos estudios.

Estos trabajos se centran principalmente en dominios o aspectos específicos de SPLE. Entre estos, Khurum y Gorschek [135] presentaron una revisión sistemática de las soluciones de análisis de dominio publicadas hasta 2007. Este trabajo tuvo como objetivo analizar el nivel de aplicación industrial y la validación empírica de las soluciones propuestas para mapear la madurez en términos de industrial y utilidad. Los resultados de esta investigación indicaron que existen varias soluciones para el análisis de dominio en las líneas de productos de software. Sin embargo, la ausencia de resultados cualitativos y cuantitativos de la aplicación o validación empírica dificultaba evaluar el potencial de las soluciones propuestas para ser adoptadas por la industria. Asimismo, se pretendió identificar los métodos de aplicación y validación utilizados en las fuentes primarias. Nuestro enfoque aborda las evaluaciones empíricas completadas hasta noviembre de 2018 en todos los procesos del marco SPLE, incluido el análisis de dominio.

Chen y Babar [96] revisaron y sintetizaron el estado de la evaluación de los enfoques de gestión de la variabilidad publicados hasta 2007. Presentan una tabla de puntuación detallada para la evaluación de la calidad de 18 estudios empíricos. Al igual que nuestro estudio, Chen y Babar [96] evalúan la calidad de los estudios de casos de gestión de la variabilidad según las pautas de Runeson [179]. Este estudio se superpone a nuestro trabajo solo en un estudio porque solo se analizó la evidencia empírica sobre la gestión de la variabilidad, mientras que nuestro estudio cubre todas las fases de SPLE.

El-Sharkawy y otros [113] tienen como objetivo analizar métricas diseñadas para modelos de variabilidad y artefactos de código. Además, evalúan las métricas para proporcionar una base para que los investigadores seleccionen las métricas adecuadas. Identifican la falta de contribuciones que analicen propiedades cualitativas en el contexto de SPLE, enfatizando la necesidad de mejorar el número de validaciones empíricas. Nuestro estudio tam-

Trabajo relacionado	Tipo	Año	Título	Periodo	No. Artículos
Khurum y Gorschek [135]		2009	A systematic review of domain analysis solutions for product lines	-2007	89
Chen y Babar [96]		2011	A systematic review of evaluation of variability management approaches in software product lines	1990-2007	97
El-Sharkawy y otros [113]		2018	Metrics for analyzing variability and its implementation in software product lines : A systematic literature review	2007-2017	42
Marques y otros [159]		2018	Software product line evolution: A systematic literature review	1-2017	60
Laguna y Crespo [151]		2013	A systematic mapping study on software product line evolution: From legacy system reengineering to product line refactoring	-2011	74
Marimuthu y Chandrasekaran [158]	Terty	2017	Systematic Studies in Software Product Lines : A Tertiary Study	-2016	60
Raatikainen y otros [173]	Terty	2018	Software product lines and variability modeling: A tertiary study	2007-2018	86
Rabiser y otros [174]		2018	A Study and Comparison of Industrial vs. Academic Software Product Line Research Published at SPLC	1997-2017	142
Our study		2019	Empirical Software product line engineering: A systematic literature review	2000-2018	62

Tabla 4.1: Trabajos relacionados

bién enfatiza la necesidad de realizar más validaciones empíricas en SPLE que permitan a los investigadores basar sus contribuciones en trabajos que han sido validados en todos los temas de SPLE.

Marques y otros [159] revisan las características de los enfoques que sustentan la evolución de SPL y sintetizar la evidencia proporcionada por los estudios primarios sobre la naturaleza de sus procesos. También analizan cómo se informa y valida la evolución del SPLE. Entre los hallazgos reportados, se menciona que el número de estudios con algún tipo de evaluación está creciendo en los últimos años. Sin embargo, concluyen que aún existe una gran cantidad de artículos sin evaluación, ya que casi la mitad de los estudios de su

SLR no presentan ninguna evaluación en su trabajo. En nuestra contribución, además de presentar cómo evolucionan los enfoques SPLE, también evaluamos la calidad de los mismos según las pautas de Runeson y otros [180] y Wohlin y otros [210].

Rabiser y otros [174] comparan 142 artículos, pero su objetivo es comparar los temas abordados en los artículos de la industria y la academia, ignorando otras preguntas de investigación que estudiamos en este trabajo. Además, limitan el alcance a la conferencia SPLC.

La encuesta de Berger y otros [80] se centra en el análisis de modelos de variabilidad en la industria con respecto a la estrategia utilizada y los valores percibidos.

También encontramos un *Systematic Mapping Study* (SMS) que, al igual que las SLR anteriores, está orientado a una zona concreta del SPLE. Este es el caso de Laguna y Crespo [151], quienes estudian investigaciones existentes sobre reingeniería de sistemas heredados en SPL y refactorización de SPL. Una de las preguntas de investigación busca saber qué tipos de estudios de validación se presentan y hasta qué extensión.

También encontramos dos trabajos que abordan sistemáticamente la revisión de la literatura en líneas de productos de software, a través de estudios terciarios: el estudio de Marimuthu y Chandrasekaran [158] y el estudio de Raatikainen y otros [173].

El objetivo del estudio de Marimuthu es realizar un mapeo sistemático de los estudios sistemáticos existentes para informar la visión general de los hallazgos para investigadores y profesionales. Se enumeran 60 estudios en el área de líneas de productos de software. En el estudio de Marimuthu, la primera pregunta de investigación es averiguar qué tipo de métodos de estudio sistemáticos se consideraron. Una de las conclusiones del estudio señaló que muchos estudios fracasaron al evaluar la calidad de los estudios primarios, y esta fue la principal limitación de los estudios sistemáticos encontrados. Nuestro SLR se centra en averiguar qué estrategias empíricas se han utilizado en SPLE y evaluar la calidad de los estudios empíricos informados en SPLE con intervención humana. Inferimos que nuestro estudio excede la limitación reportada en el estudio de Marimuthu porque abordamos la evaluación de los estudios primarios.

Raatikainen y otros [173] estudian 86 revisiones sistemáticas (SR, es decir, SLR y SMS) analizan y usan resultados basados en evidencia e identifican cómo se modela la variabilidad. Una de las conclusiones del estudio fue que los diferentes tipos de RS rara vez tienen en cuenta ni la calidad analizada ni

la evidencia encontrada en los estudios analizados. Este estudio también aseguró que muchos métodos de investigación se describan brevemente o solo se mencionen por su nombre. Incluso los estudios analizados no siempre son claros acerca de sus métodos. También mencionan que las SR suelen ser bastante específicas para un área de investigación emergente donde se proponen soluciones en lugar de resultados de investigación con evidencia empírica convincente que vale la pena analizar. Por lo tanto, varios subtemas aún pueden carecer de una SR que valga la pena tomar como referencia.

Nuestra motivación para realizar una SLR responde a la ausencia de un estudio que sintetice y evalúe la calidad de los estudios sobre evidencia empírica en SPLE con intervención humana. Hasta donde sabemos, no existe ningún estudio con este tema, por lo que creemos que es necesario sintetizar los estudios con evidencia empírica convincente y de buena calidad para que los investigadores sigan haciendo más aportes basados en evidencia empírica validada. Pretendemos reducir esta brecha a través de la contribución que se detalla en el Capítulo §5, abordando el análisis de la calidad de los estudios reportados y mostrando el alcance que ha tenido la ingeniería empírica del software en el SPLE.

4.4.2. Gestión de la variabilidad en empresas

La variabilidad es la capacidad de un sistema o artefacto de software (como un componente o subsistema) para configurarse, personalizarse o ampliarse para su uso en un contexto específico [70].

Esta noción de “manejo de la variabilidad”, de acuerdo a Svahnberg y otros [195] se define como implementar un punto de variación y para Van der Linden y otros [202], la gestión de la variabilidad incluye definir e implementar la variabilidad. Además, hace referencia a que la gestión sistemática de la variabilidad reduce los esfuerzo de diseño y desarrollo, debido a una mayor reutilización de los artefactos de software. Y también destaca la incidencia positiva de la gestión de la variabilidad en los costos de mantenimiento en comparación con el diseño de sistemas separados para diversos escenarios de uso [202]. Se amplían aspectos de la variabilidad en SPL en la Sección §2.6.

Muchas empresas desarrollan los sistemas de software actuales teniendo en cuenta la variabilidad en sus productos. Sin embargo, al sintetizar los estudios empíricos sobre SPLE en [94] observamos que los estudios de casos y experimentos reportados en la literatura ninguno abordaba esta temática. Debido a esta laguna en los estudios, se consideró estudiar como gestionan la variabilidad en sus productos las empresas de desarrollo software. Este cono-

cimiento puede ayudar a definir prácticas de adopción para una mejora del proceso de producción. Para realizar esta investigación y en base a *“considerar que los métodos empíricos suelen ser complementarios para obtener más fuentes de información que conducirán a decisiones en ingeniería de software más informadas”* (tal como se describe en el Capítulo §3), se presentan dos contribuciones empíricas, que buscan abordar la problemática mencionada.

- Diseño de un estudio de caso en Pymes para conocer sus prácticas de gestión de variabilidad en sus productos, abordando 3 unidades de análisis (gestión de producto, ingeniería de requisitos de dominio e ingeniería de requisito de aplicación).
- Ejecución de una encuesta a empresas de desarrollo software para conocer sus prácticas de gestión de variabilidad en sus productos, analizando los subprocesos de gestión de producto e ingeniería de requisitos.

Los resultados que se obtengan de la aplicación del diseño permitirán señalar los puntos fuertes y débiles de los enfoques de las empresas donde se efectuó dicho estudio de caso, para generalizar los hallazgos encontrados se necesita de réplicas que usen exactamente el mismo protocolo de estudio de caso. En el Capítulo §6 se presenta la primera contribución y en el Capítulo §7 se presenta la aplicación de la encuesta, es decir la segunda contribución que aborda esta brecha de investigación.

Realizando una búsqueda en la literatura, se encontró que Benavides y Galindo [78] realizaron un estudio sobre cómo las empresas que no conocen los conceptos de líneas de productos de software gestionan la variabilidad. Se concluyó que la empresa en observación contaba con algunas prácticas de gestión de la variabilidad, como la reutilización de activos de productos entre otros aspectos. Este estudio se realizó de manera no sistemática, sin poner en práctica un método sistemático de evaluación empírica, como experimentos o estudios de caso. Si bien no existen estudios previos documentados sobre prácticas de SPL en empresas que aún desconocen la existencia de SPL, existen varios estudios que han abordado la problemática analizada de manera parcial, estos estudios fueron considerados como base para la contribución. En da Silva y otros [105] y Bastos y otros [75], los autores presentan un estudio completo sobre la adopción de SPL en pequeñas y medianas empresas en el que pretenden justificar el uso de métodos ágiles y el uso de un enfoque multimétodo respectivamente para la adopción SPL. Para lograr sus objetivos, da Silva y otros [105] presentan un estudio de caso único basado en el alcance y los requisitos del software, dado que esas disciplinas son las que definen el ciclo de vida de SPL.

En el Capítulo §6 diseñamos un protocolo de estudio de caso que se pone a disposición de la comunidad para obtener resultados formales que se puedan generalizar, debido a que se utilizó un método de estudio de caso. Este estudio se validó con resultados preliminares de la aplicación en una empresa.

El diseño estudio de caso abordado en esta contribución, también se basa en los primeros subprocesos de la ingeniería SPL.

Bastos y otros [75] concluyen que los hallazgos significativos son un paso importante para establecer pautas para la adopción de SPL. La ejecución de nuestro caso de estudio tiene como objetivo determinar cómo la variabilidad es manejada por empresas que no conocen los conceptos de las líneas de productos de software y verificar qué conceptos de SPL se utilizan en la práctica. Al igual que en nuestro estudio, Bastos también tiene como objetivo definir algunas prácticas de transición para la implementación de técnicas SPL.

Rabiser y otros [174] presentan un estudio comparativo de la tendencia de la investigación en SPL en el ámbito industrial y académico. Este estudio reveló que más de un tercio (34 %) de la investigación académica proporciona solo ejemplos artificiales/juguetes y el 27 % de los artículos no presenta ninguna evaluación. Esto significa que el 61 % de la investigación académica no está debidamente validada. En base a la conclusión presentada en el trabajo de Rabiser y otros [174] donde se indica que el 61 % de los estudios no están correctamente validados, pretendemos validar a través de un caso de estudio la gestión de la variabilidad en empresas que no conocen SPL.

4.5. Resumen

En esta sección hemos revisado algunas de las propuestas que atacan los problemas que se originan por la falta de estudios que sintetizan y evalúan la calidad de los estudios sobre evidencia empírica en SPLE con intervención humana, de acuerdo a los resultados de análisis efectuado en la Subsección §4.4.1, concluimos que la SLR realizada en ingeniería de líneas de producto software, es la primera que pretende reducir esa brecha de investigación a través de la contribución que se desarrolla en el Capítulo §5, abordando el análisis de la calidad de los estudios reportados y mostrando el alcance que ha tenido la ingeniería empírica en el SPLE.

Por otro lado, de acuerdo al análisis que hemos presentado en la Subsección §4.4.2 acerca del interés de los investigadores por conocer como gestionan la variabilidad en sus productos las empresas que no han incursionado en el paradigma SPLE, concluimos que el diseño del estudio de caso y la encuesta

presentada en esta tesis, es la primera contribución en la literatura que se desarrolla aplicando métodos empíricos y aborda la problemática mencionada permitiendo analizar la aplicación práctica del paradigma de SPL en las empresas. El resultado de este esfuerzo puede ser fundamental para posibilitar la futura transferencia de la investigación académica a entornos industriales.

Esto justifica la originalidad de nuestras contribuciones y aporta nuevas evidencias al estado del arte y de la práctica para futuras investigaciones.

Capítulo 5

Estudios empíricos en SPL

Ver una cosa claramente en la mente hace que comience a tomar forma.

Henry Ford

*L*a adopción de la ingeniería de línea de productos de software (SPLE) con frecuencia solo se fundamenta en sus beneficios teóricos en lugar de evidencias empíricas. En este Capítulo se presenta una revisión sistemática de la literatura que sintetiza los estudios que han utilizado evidencias en SPLE con intervención de humanos entre 2000 y 2018, esta metodología sigue los lineamientos presentados por Kitchenham [136], evaluados en [134] y actualizados en [149]. En este capítulo, describimos el alcance de los estudios reportados en la literatura a lo largo del tiempo y busca brindar a la comunidad hallazgos que evidencien oportunidades de investigación que sirvan como punto de referencia para nuevas investigaciones, y se basa principalmente en los resultados del artículo [94].^{†1}.

En concreto, la Sección §5.1 presenta la introducción a la problemática abordada en esta contribución. La Sección §5.2 detalla el procedimiento efectuado en la realización de la revisión sistemática de la literatura. La Sección §5.3 presenta los resultados obtenidos. Por último, en la Sección §5.4 se presenta un resumen de esta contribución.

^{†1}Este capítulo incluye secciones de la publicación en Journal Information and Software Technology de [94]

5.1. Introducción

Como se describe en el Capítulo §2, *“las líneas de productos de software (SPL) tienen como objetivo apoyar el progreso de una familia de productos de software mediante la reutilización sistemática de activos compartidos”* [99]. Las SPL han recibido una atención significativa por parte de los ingenieros de software desde la década de 1990 debido a los beneficios que proponen, como la reutilización en el desarrollo de software, la expansión del catálogo de productos, la reducción del tiempo de comercialización, el aumento del retorno de la inversión, la reducción de los costos de desarrollo, la mejora de la calidad del software o satisfacción del cliente, entre otros [99, 172, 202]. En la actualidad, los SPL han sido ampliamente desarrollados en el mundo académico y aplicados en la industria. Sin embargo, la aplicación del SPLE suele basarse únicamente en sus beneficios teóricos, es decir, su aplicación no siempre está respaldada por evidencias empíricas [174].

Podemos encontrar estudios en la literatura que describen los beneficios de la aplicación de estrategias empíricas en ingeniería de software [210]. Dependiendo de la tecnología utilizada (técnica, método o herramienta) y el propósito de la evaluación, existen estrategias que se pueden utilizar y adaptar a las necesidades particulares. Cada estrategia empírica tiene sus limitaciones y beneficios.

Según Basili y otros [72], *las debilidades y los beneficios de las tecnologías se pueden identificar a través de estudios empíricos*. Esto puede explicar por qué la ingeniería de software y, más concretamente, SPLE, ha comenzado a enfatizar los métodos de investigación empíricos al mejorar la validez y generalización de los resultados de investigación [74, 200, 209, 213].

Hasta donde sabemos, no existe ningún trabajo que descubra y resuma los estudios empíricos sobre la aplicación de SPLE. Para solventar esta necesidad hemos realizado una revisión sistemática de la literatura (SLR) en evidencias empíricas en SPLE. Las revisiones de literatura son un método para identificar investigaciones relevantes, métodos y lagunas en la investigación existente.

Concretamente, elegimos artículos relevantes de cuatro bases de datos de investigación (es decir, ACM, IEEE, Science Direct y Scopus) delimitando nuestro estudio a aquellos estudios empíricos que se completan con la intervención humana. Esta revisión se centra en la evidencia empírica de SPLE con intervención humana entre 2000 y 2018. En este período, recuperamos más de 1800 artículos revisados por pares de revistas y las principales conferencias de ingeniería de software en las que los autores publicaron investigaciones empíricas con intervención humana. Filtramos estos artículos, aplicando un

conjunto de criterios de inclusión y exclusión que se detallan en §5.2.1.3, para obtener finalmente 62 estudios primarios.

Nuestro estudio se basa en la definición de Kitchenham y otros [149], donde se indica que las revisiones sistemáticas de la literatura se realizan para *“identificar, analizar e interpretar toda la evidencia disponible relacionada con una pregunta de investigación específica”*.

Las contribuciones de este trabajo son las siguientes:

Descubrimos y resumimos el estado actual de los estudios que han utilizado evidencia empírica en SPLE con intervención humana. Nos basamos en las pautas para realizar revisiones bibliográficas sistemáticas en ingeniería de software presentadas por Keele y otros [134], Kitchenham [136], Kitchenham y otros [149].

Evaluamos la madurez de los métodos de los estudios primarios para resaltar las limitaciones y fortalezas. La madurez de los experimentos se analiza según las directrices de Wohlin y otros [210] y, la de los casos de estudio, con las de Robson [177], Runeson y otros [180].

Mostramos la evolución de estos estudios a lo largo del tiempo: los temas de investigación abordados, de dónde y quiénes son los autores y las instituciones que investigan en estos temas.

Presentamos las brechas de investigación y destacamos áreas críticas que requieren más estudio.

5.2. Procedimiento

La contribución se fundamenta en las directrices presentadas por Kitchenham [134, 136, 149] para realizar revisiones bibliográficas sistémicas en ingeniería del software. Estas directrices se dividen en tres fases principales: planificación, realización e informe de la revisión, como se muestra en la Figura §5.1.

En esta sección, se detalla cada paso de la SLR.

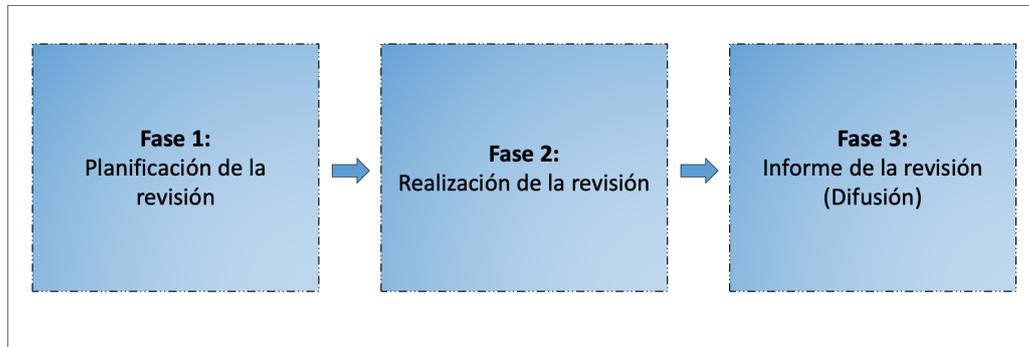


Figura 5.1: Fase del proceso de SLR [134, 149]

5.2.1. Fase 1: Planificación de la revisión

El objetivo principal de esta fase es desarrollar un protocolo para identificar, valorar y cotejar las pruebas de la SLR. En la Figura §5.2 se detallan los pasos que se siguió y que se describen en los siguientes apartados.

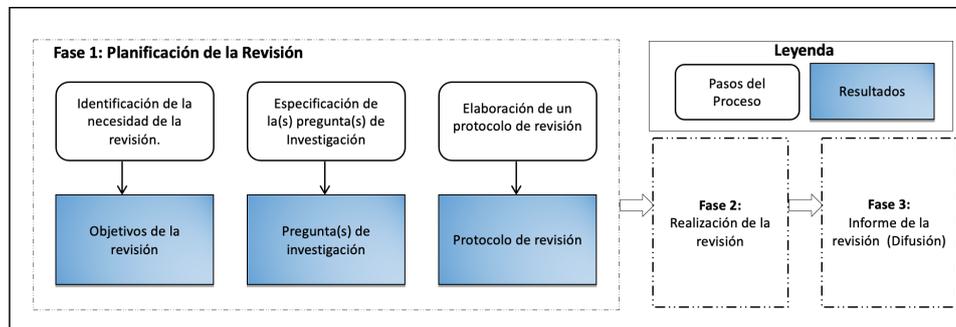


Figura 5.2: Fase 1. Planificación del proceso de revisión [134, 149]

5.2.1.1. Identificación de la necesidad de una revisión

La principal motivación de la realización de este estudio sistemático es la necesidad de sintetizar los estudios empíricos en SPLE para apoyar a los investigadores para futuras contribuciones ya que, como se expuso en la Subsección §4.4.1 donde se revisó los trabajos relacionados de la contribución, no se encontró ninguna revisión sistemática de la literatura sobre evidencias empíricas, ni con intervención de humanos. El principal objetivo de la revisión es

descubrir y resumir los estudios que han utilizado evidencias empíricas en SPLE limitadas a aquellas con intervención de humanos, para evaluar la calidad y conocer el alcance de estos estudios a lo largo del tiempo. De este modo, pueden surgir oportunidades de investigación.

5.2.1.2. Especificación de las preguntas de investigación

Las preguntas de investigación guían la metodología de la revisión sistemática. Es decir, dirigen el proceso de búsqueda, la extracción y el análisis de los datos. La Tabla 5.1 presenta las preguntas y subpreguntas de investigación de este estudio.

Nº	Preguntas de Investigación
RQ1	¿Existen estudios empíricos sobre el SPLE con intervención humana?
RQ1.1.	¿Qué estrategias empíricas se han usado?
RQ1.2.	¿Qué procesos del marco SPLE se han estudiado?
RQ1.3.	¿En qué contexto se realiza la investigación empírica?
RQ2	¿Cuál es la calidad de los estudios empíricos reportados en SPLE?
RQ3	¿Cuál es el alcance de la investigación empírica en SPLE?
RQ3.1.	¿En qué revistas o congresos se publican este tipo de artículos?
RQ3.2.	¿Cuál es la evolución temporal en este tipo de estudios?
RQ3.3.	¿Qué autores investigan en esta área?

Tabla 5.1: Preguntas de investigación

RQ1. ¿Existen estudios empíricos sobre el SPLE con intervención humana?

Se desea conocer los estudios que han utilizado pruebas empíricas en SPLE con intervención humana. Para responder esta pregunta se plantearon las siguientes subpreguntas de investigación.

- **RQ1.1. ¿Qué estrategias empíricas se han usado?** Esta pregunta de investigación busca conocer las estrategias empíricas que han sustentado la investigación realizada en SPLE. Según Robson [177] y Wohlin y otros [210], las estrategias empíricas son la encuesta, el estudio de casos, el experimento o el cuasiexperimento.
- **RQ1.2. ¿Qué procesos del marco SPLE se han estudiado?** Esta pregunta busca conocer qué procesos del marco SPLE propuesto por Pohl y otros [172] han sido investigados por estudios empíricos; de este modo, se determinan los temas que han merecido más atención por parte de los investigadores y se muestran las lagunas de investigación que pueden generar trabajos futuros.
- **RQ1.3. ¿En qué contexto se realiza la investigación empírica?** Esta pregunta busca conocer cuál fue el entorno de estudio (académico o industrial), el número de sujetos que participaron en los estudios, el objetivo y la intención de utilizar la estrategia empírica.

RQ2. ¿Cuál es la calidad de los estudios empíricos reportados en SPLE?

A través de esta pregunta se pretende conocer la calidad de los estudios empíricos encontrados. Puede haber diferentes formas de medir la calidad de las fuentes primarias. Sin embargo, en esta contribución se mide la madurez del método utilizado con propuestas bien reconocidas [177, 180, 210]. La madurez del método representa lo bien que se ha realizado un estudio y se ha comunicado de acuerdo con las directrices mencionadas. Esto permite realizar una comparación imparcial entre diferentes contribuciones, independientemente del concepto de calidad que pueda tener cada lector. Nótese que se refiere a la calidad y a la madurez del método de investigación como sinónimos.

RQ3. ¿Cuál es el alcance de la investigación empírica en SPLE?

Se desea conocer los datos generales de las investigaciones reportadas sobre evidencia empírica en SPL y la evolución de estos estudios.

- **RQ3.1. ¿En qué revistas o congresos se publican este tipo de artículos?** Esta pregunta permite conocer las publicaciones adecuadas para los investigadores que estén interesados en realizar futuras contribuciones en SPLE apoyadas en la ingeniería de software empírica.

- **RQ3.2. ¿Cuál es la evolución temporal en este tipo de estudios?** Esta pregunta determina la evolución temporal de la investigación sobre SPLE. El objetivo es ayudar a los investigadores a saber sobre ¿qué temas? y ¿cuándo? se hicieron las aportaciones.
- **RQ3.3. ¿Qué autores investigan en esta área?** Esta pregunta permite conocer quiénes son los autores e instituciones que (avalados por estudios empíricos) investigan sobre los SPL. De esta manera, se sabrá qué instituciones tienen conocimiento sobre el tema, lo que permitirá detectar y fomentar la colaboración entre investigadores.

5.2.1.3. Elaboración de un protocolo de revisión

La elaboración de un protocolo de revisión permite especificar los pasos que siguen los investigadores durante una revisión. La Figura 5.3 muestra los elementos de esta revisión sistemática.

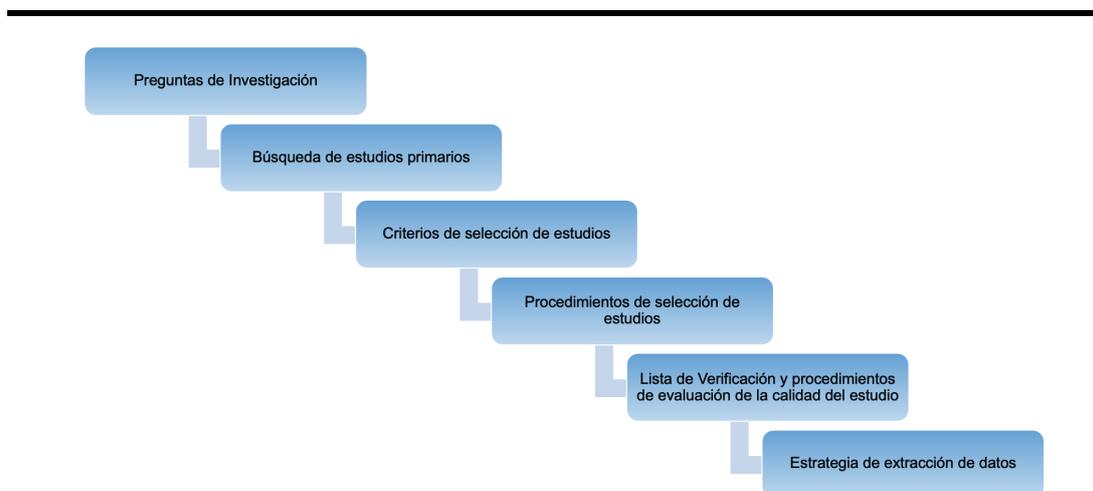


Figura 5.3: Protocolo de revisión siguiendo las guías de Kitchenham [149]

El primer paso consiste en definir el conjunto de preguntas de investigación a las que se pretende dar respuesta en la SLR, como ya se ha descrito en la Subsección 5.2.1.2. A continuación, se define la estrategia de búsqueda de estudios primarios, este paso incluye la definición de las cadenas de búsqueda y la descripción de las bibliotecas digitales utilizadas en la contribución. Se definen los criterios de selección de los estudios, donde se especifican los criterios de inclusión y exclusión para la selección de los estudios primarios.

El siguiente paso es la definición de los procedimientos de selección de estudios; en este paso, se describe cómo se aplican los criterios de selección, cómo se evalúa cada estudio primario y cómo se resuelven los desacuerdos entre los investigadores.

El siguiente paso es la definición de las listas de comprobación y los procedimientos para la evaluación de la calidad de los estudios. En este paso, se justifica los criterios de calidad aplicados para obtener los estudios primarios.

Por último, se describió el procedimiento de extracción de datos seguido en esta revisión sistemática de la literatura. A continuación, se detalla cada uno de los pasos en el desarrollo de un protocolo de revisión.

Búsqueda de estudios primarios. A partir de las preguntas de de investigación planteadas, se identifica las palabras clave que deben utilizarse para realizar la búsqueda de estudios primarios. La Tabla 5.2 muestra estas palabras clave y los sinónimos alternativos.

Término	Palabras claves	Alternativas
A	Softwre Product Line	"Software Product Line" "Software Products Lines"
B	Software product family	"Software product family" "Software product families"
C	Empirical	"Empirical"
D	Survey	"Survey"
E	Experiment	"Experiment"
F	Case study	"Case study"
G	Experience report	"Experience report"

Tabla 5.2: Palabras claves utilizadas para construir las cadenas de búsqueda

Las palabras clave se verificaron en artículos pertinentes [1, 2]. También se realizaron búsquedas iniciales con las palabras claves en las bases de datos. Los sinónimos alternativos se incorporaron utilizando la función booleana "OR". Además, los términos principales se vincularon utilizando la expresión booleana "AND".

De este modo, combinando las palabras clave A y B, se pudo encontrar estudios que se centran en las SPL, independientemente de cómo las nombren los autores en sus trabajos. Las palabras clave C, D, E, F y G nos permiten centrarnos en los trabajos relacionados con las estrategias empíricas. En este caso,

se decidió incluir sólo los términos más genéricos para identificar con precisión los estudios primarios. Se consideró incluir el nombre de los procesos del marco SPLE en la cadena de búsqueda, pero después de revisar manualmente todos los documentos relevantes ya estaban incluidos en la cadena de búsqueda propuesta, por lo que se decidió no incluir los procesos para no aumentar el conjunto inicial con resultados que no son relevantes y dificultarían la réplica de esta contribución.

Siguiendo la estrategia descrita, y tras varias pruebas y revisiones, se construyeron las cadenas de búsqueda genéricas de la siguiente manera:

```
("Software product line" OR "Software product lines"  
OR "Software product family" OR "Software product  
families") AND ("Empirical" OR "Survey" OR  
"Experiment" OR "Case study" OR "Experience report")
```

Se decidió que la estrategia de búsqueda original incluiría dos fases: búsqueda automática de bases de datos electrónicas y búsqueda por lectura de bola de nieve. Mientras que las bibliotecas digitales tienen parametrización específica para sus interfaces, se verificó que no era posible utilizar una sola cadena de búsqueda para todas las fuentes bibliográficas. Por lo tanto, se decidió diseñar y utilizar diferentes cadenas de búsqueda, haciendo los esfuerzos necesarios para que estas cadenas de búsqueda fueran lógicas y semánticamente equivalentes.

Como parte de la planificación, se realizaron varias búsquedas de prueba. Los resultados de las búsquedas de prueba se discutieron entre los investigadores para refinar la cadena de búsqueda hasta que se estuvo completamente satisfechos con la capacidad de la cadena de búsqueda para obtener los estudios primarios. Para obtener más detalles, consulte el Apéndice §A.1, donde se presentan más detalles sobre las cadenas de búsqueda específicas utilizadas. revisar apéndice

Criterios de selección de los estudios Se definieron los siguientes criterios de inclusión y exclusión, que nos permitieron obtener los estudios primarios que se analizaron en la SLR. Los criterios que aplicaron se recogen en la Tabla §5.3.

Se consideró en el estudio los artículos publicados entre 2000 y 2018 porque en 2000 se estableció el marco de la línea de productos de software. Se consideró artículos de revistas y de las 5 conferencias con mayor resultados en la búsqueda de los datos iniciales; estas 5 conferencias, son también conferencias de alto impacto en la ingeniería del software, por lo que el proceso

Criterios de Inclusión
1. Trabajos publicados entre 2000 y 2018
2. Artículos revisados por pares
3. Documentos relacionados con estrategias empíricas con intervención humana
Criterios de Exclusión
1. Artículos revisados por pares de conferencias y talleres excepto de estas conferencias: <ul style="list-style-type: none"> ■ Systems and Software Product Line Conference (SPLC) ■ Empirical Software Engineering and Management (ESEM) ■ International Conference on Software Engineering (ICSE) ■ European Software Engineering Conference and Symposium on the Foundations of Software Engineering (ESEC/FSE) ■ International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE)
2. Artículos de revistas con nueve páginas o menos y artículos de conferencias con cinco páginas o menos para excluir artículos cortos
3. papeles duplicados
4. Revisiones de literatura, estudios de mapeo y revisiones terciarias para enfocarse solo en estudios primarios.
5. Trabajos que no tengan evidencia empírica con intervención de humanos en SPLE.
6. Trabajos donde sólo los propios autores están involucrados como participantes

Tabla 5.3: Criterios de inclusión y exclusión

de revisión garantiza suficientes artículos maduros y relevantes. Por la misma razón, se decidió eliminar los artículos de revistas con nueve páginas o menos y los artículos de conferencias con cinco páginas o menos. Después de eliminar dichos artículos, también se descartó cualquier otro estudio secundario (que se consideró como trabajo relacionado) y aquellos artículos en los que los autores eran los únicos participantes en el estudio. Este filtro se realizó; no sólo para mantener el número de trabajos a revisar en una cantidad manejable;

sino también, para mantener el enfoque de los estudios primarios.

Procedimientos de selección de estudios El procedimiento se apoyó en dos herramientas de gestión bibliográfica: Mendeley ^{†2} y Jabref ^{†3}. Mendeley se utiliza como repositorio de los artículos devueltos por las bases de datos y Jabref para la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión. Se utilizó la herramienta Jabref porque ofrece una interfaz fácil de usar para la edición de archivos BibTeX. También el estudio se apoyó en algunos mecanismos automáticos para realizar parte del análisis bibliométrico, como la generación de figuras.

La utilización de los criterios de inclusión y exclusión fue verificada manualmente por todos los autores de este trabajo. Para aplicar el criterio "trabajos que no tienen evidencia empírica con intervención de humanos", se acordó leer el título, el resumen y las conclusiones en una primera etapa, y otras partes claves de los trabajos en el caso de que se hubiera necesitado más información. Siguiendo las directrices de Kitchenham [149], los desacuerdos en la clasificación de los artículos se resolvieron en reuniones, donde se discutió y se llegó a un consenso entre los investigadores.

Listas de comprobación y procedimientos para la evaluación de la calidad de los estudios. Los autores discutieron la aplicación de listas de verificación para asegurar la calidad de los estudios primarios. Se siguió la guía de [197, Pag. 33] que indica que *"no existe un enfoque único para evaluar la calidad. La importancia de cada aspecto de la calidad dependerá del enfoque y la naturaleza de la revisión. El mejor enfoque vendrá determinado por las consideraciones contextuales, pragmáticas y metodológicas del estudio"*. Además, dado que una de nuestras preguntas de investigación era evaluar la calidad de los estudios empíricos (RQ2), se decidió no imponer más restricciones a los artículos en términos de calidad. Además, todas las obras seleccionadas fueron leídas detenidamente por los autores, que las aprobaron según su experiencia para incluirlas como fuentes primarias en esta lista.

Estrategia de extracción de datos La estrategia acordada para la extracción de datos en esta revisión consistió en la lectura de los 62 estudios primarios y el diseño de una serie de formularios que ayudaron a responder las preguntas de investigación planteadas en el estudio. Se utilizó el SPSS ^{†4} y R ^{†5} para clasificar

^{†2}<https://www.mendeley.com/>

^{†3}<http://www.jabref.org/>

^{†4}<https://www.ibm.com/analytics/spss-statistics-software>

^{†5}<https://www.r-project.org/>

y analizar la información obtenida de los estudios primarios. Los formularios específicos utilizados en la SLR se explican en la Subsección §5.2.2.3.

5.2.2. Fase 2: Realización de la revisión

Esta fase ejecuta el protocolo definido en la fase anterior. La Figura §5.4 detalla las acciones realizadas durante esta fase.

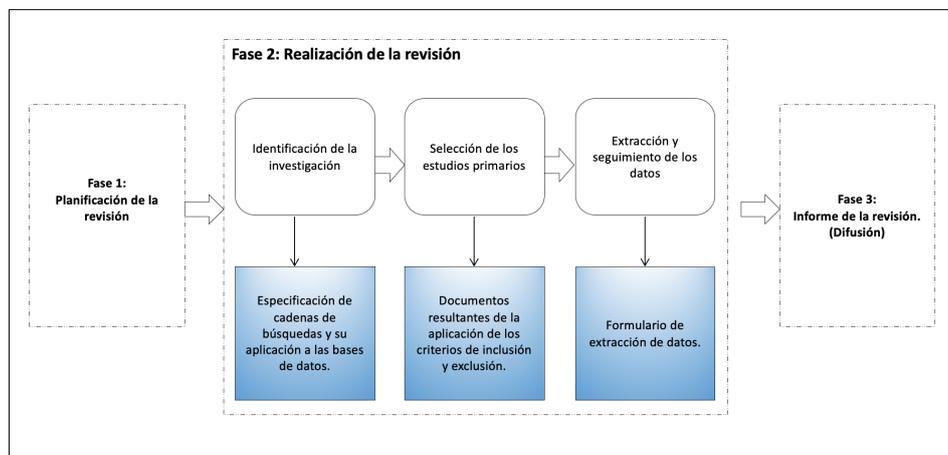


Figura 5.4: Fase 2: Realización de la revisión [149]

5.2.2.1. Identificación de la investigación

La actividad principal en este paso es definir y aplicar la cadena de búsqueda definida en la Subsección §5.2.1.3 para cada fuente de datos elegida. La Tabla §A.1 del Apéndice §A.1 muestra cada una de las cadenas de búsqueda utilizadas en las bases de datos. La columna de resultados muestra el número de estudios obtenidos en cada biblioteca digital. Nuestra búsqueda en todas las bases de datos dio como resultado 2306 documentos. Todas las búsquedas se basaron en el título, las palabras clave y el resumen, y los resultados se filtraron entre enero de 2000 y noviembre de 2018.

5.2.2.2. Selección de estudios primarios

La selección de nuestros estudios primarios fue el resultado de la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión establecidos en la fase de plani-

ficación. La Figura 5.5 muestra cada uno de los filtros que se aplicaron para obtener nuestros estudios primarios.

Paso 1: Realización de la búsqueda. En este paso se obtuvieron 1880 artículos. Esta es la unión del total de artículos importados desde las cuatro bases de datos al gestor de referencias bibliográficas Mendeley. Nótese que en este paso Mendeley ya identificó algunos artículos duplicados (426) que fueron eliminados automáticamente y, a continuación, se exportaron los resultados a JabRef para continuar con la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión previamente definidos.

Paso 2: Filtrado de estudios. En este paso se obtiene el número de trabajos resultantes tras aplicar cada uno de los seis criterios de exclusión previamente definidos en la Tabla 5.3. La aplicación de los primeros criterios de exclusión

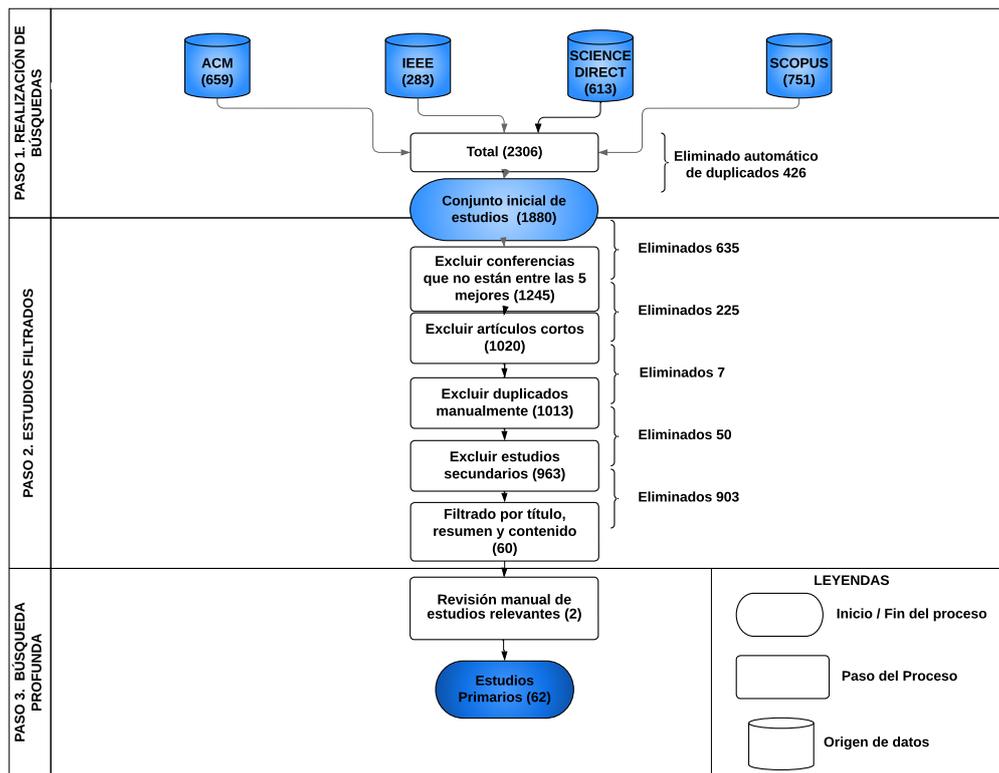


Figura 5.5: Fases durante la selección de estudios primarios

generó discusiones entre los investigadores. Por un lado, siguiendo los factores recomendados por Dybå [111], se consideró excluir todos los artículos de conferencias porque su espacio limitado puede dar lugar a artículos incom-

pletos. Por otro lado, el proceso de revisión de los congresos más importantes garantiza la presentación de artículos de calidad. Por lo tanto, finalmente se acordó considerar las 5 conferencias principales con más artículos en los resultados que también coinciden con conferencias de alto impacto en el campo de la ingeniería de software con temas de líneas de productos. Se aplicó este criterio de exclusión eliminando 635 artículos en esta etapa resultó un total de 1245 artículos.

A continuación, se aplicó el segundo criterio de exclusión; es decir, se excluyó todos aquellos artículos de revistas con menos de diez páginas y aquellos artículos de conferencias con menos de seis páginas, en esta etapa, se excluyeron un total de 225 artículos, lo que nos dejó con 1020. Luego, se aplicó el tercer criterio de exclusión, que consistía en eliminar manualmente todos los elementos duplicados que quedaban, hay que tener en cuenta que; como ya se indicó en el primer paso, en la *realización de la búsqueda* algunos duplicados ya se eliminaron automáticamente. Hay que tener en cuenta que también se encontró un artículo de incremento. Es decir, un artículo de revista que ampliaba los resultados de un artículo de conferencia que también se consideró como un duplicado. Fue el caso de [3] y [116] y sólo se añadió al estudio el artículo de revista [3]. Por lo tanto, en esta etapa se eliminaron 7 artículos, quedando un total de 1013 artículos.

El cuarto criterio de exclusión se aplicó para eliminar los estudios secundarios y los estudios terciarios. Se eliminaron un total de 50 artículos, quedando un total de 963 estudios primarios. El siguiente criterio de exclusión aplicado se basó en la lectura de los títulos, el resumen y las conclusiones para determinar si el artículo cumplía con el tema de interés para este SLR. Los investigadores verificaron el quinto criterio de exclusión; es decir, si se trataba de un estudio empírico en SPLE con intervención humana y si había más participantes en el estudio aparte de los autores. Al aplicar este criterio, se excluyeron 903 trabajos, lo que dio lugar a 60 artículos. Ninguno de estos 60 artículos incluía a los autores como únicos participantes del estudio, tal y como se describía en el sexto criterio de exclusión, por lo que ésta fue la lista final de artículos para el análisis.

Paso 3: Búsqueda profunda. Para no perder ningún trabajo relevante se realizó una búsqueda de lectura de bola de nieve, además de la experiencia de los autores, para mejorar la muestra final. Se obtuvieron dos artículos que cumplían los criterios de inclusión. De este modo, se obtuvieron un total de 62 estudios primarios en nuestro SLR.

5.2.2.3. Extracción y seguimiento de datos

El objetivo de esta etapa era diseñar formularios de extracción de datos para la obtención de datos de los estudios primarios. Para prevenir sesgos en el proceso de extracción de datos, se probó los formularios de extracción con cinco estudios primarios al azar. Después de algunos ajustes, se llegó a la conclusión de que las versiones finales de los formularios eran adecuadas para extraer los datos para responder a las preguntas de investigación de nuestro SLR.

Además de extraer los elementos básicos de los artículos, como el DOI, el título, el nombre de los autores o el año de publicación, la Tabla §A.2 del Apéndice §A.2 muestra las propiedades y valores de los datos generales que se utilizaron para extraer y clasificar la información de los estudios primarios. El Apéndice §A.2 también contiene las tablas §A.3 y §A.4 que muestran los formularios utilizados para la extracción de datos relacionados con la calidad del método para los estudios de caso y los experimentos respectivamente (con el fin de responder a la RQ2). El proceso general consistió en leer los artículos y buscar los datos correspondientes para extraerlos. Si los datos eran explícitos y claros, se incluían en el formulario de extracción de datos; si estaba claro pero no incluido en una sección/subsección específica, también se procesaron e incluyeron; cuando los datos no estaban claros aunque había alguna información implícita, los datos no se incluían.

5.2.3. Fase 3: Informe de la SLR

En esta última fase de la SLR, que se muestra en la Figura §5.1, se llevó a cabo el proceso de documentar las etapas previas. Es decir, se informó sobre el protocolo, la ejecución del protocolo, clasificación, análisis de la información recuperada de los 62 estudios primarios objetos de estudio de la contribución. Se documenta la información que resulta al dar respuesta a las preguntas de investigación de esta contribución definidas en la Subsección §5.2.1.2.

5.2.4. Amenazas a la validez

El SLR que se presenta en esta contribución pretende ser lo más sistemático posible. Sin embargo, se realizaron suposiciones que pueden afectar a su validez.

5.2.4.1. Validez externa

Como se ha mencionado anteriormente, se tuvo en cuenta cuatro bases de datos científicas. Esto puede haber sesgado el proceso al omitir algunos artículos que no están en estas bases de datos. Sin embargo, se minimizó el impacto de esta amenaza revisando las referencias de cada documento incluido y verificando si nos faltan investigaciones relevantes. Las principales amenazas a la validez externa son:

- Validez de la población. Se revisó una gran cantidad de documentos para reducir la posibilidad de perder trabajos relevantes. Cuando la revisión del título y el resumen no fue concluyente, también se leyó el contenido de los artículos para asegurarse de no omitir un artículo relevante.
- Validez ecológica. Se centra en los posibles errores de los materiales del experimento y de las herramientas utilizadas. Siempre que fue posible, se utilizó un mecanismo automatizado en lugar de recurrir a métodos manuales.

5.2.4.2. Validez interna

Otra amenaza a la que se enfrentó el estudio fue el sesgo de los investigadores individuales al evaluar los estudios primarios asignados. Para superar esta amenaza, se siguió un procedimiento predefinido y, específicamente para la evaluación de la calidad del método utilizado en los estudios primarios, también la contribución se fundamentó por guías predefinidas para desarrollar un estudio de caso y un experimento.

5.3. Resultados

Como resultado del análisis de los estudios primarios, se respondió a las preguntas de investigación definidas en Subsección §5.2.1.2.

La Tabla §5.4 para los estudios de caso y la Tabla §5.5 para los experimentos, muestran los datos agregados de los estudios que se utilizan para evaluar las subpreguntas RQ1.1, RQ1.2 y RQ1.3. Las primeras nueve columnas indican si cubren cada uno de los nueve procesos definidos en el marco SPLE, mientras que las siguientes cinco columnas indican el contexto del trabajo para responder a la RQ1.3.

El objetivo de la columna de temas es permitir a los investigadores disponer de información como referencia para futuras contribuciones. Este valor puede ayudarles a decidir sobre qué procesos marco y sobre qué temas específicos hay que reiniciar o proponer nuevas investigaciones. En general, hay una gran variedad de temas estudiados, como la arquitectura de software, el modelado de características o la eficiencia.

5.3.1. ¿Existen estudios empíricos sobre el SPLE con intervención humana?

5.3.1.1. RQ1.1: ¿Qué estrategias empíricas se han usado?

Como se muestra en las tablas §5.4 y §5.5, al analizar los estudios primarios, se reveló que aproximadamente el 56 % de los estudios utilizaron la estrategia empírica de estudios de casos (35 estudios de casos). Mientras que el resto de los estudios primarios utilizaron una estrategia de experimentación (26 experimentos y un cuasi-experimento que se clasifica como experimento [4]).

Se conjeturó que una posible causa del mayor número de estudios de caso es que los contextos industriales están más cerca de la comunidad SPL. Es decir, se puede encontrar múltiples iniciativas para cerrar la brecha entre la industria y la comunidad de investigación de SPL, como una pista industrial en la conferencia SPLC que fue promovida por el Instituto de Ingeniería de Software de la Universidad Carnegie Mellon.

5.3.1.2. RQ1.2: Qué procesos del marco SPLE se han estudiado?

Con esta pregunta se identificó los procesos del marco SPLE que se han estudiado aplicando una estrategia empírica. Para responder a esta pregunta, se utilizó la definición del marco de Pohl y otros [172]. La respuesta a esta pregunta nos permite conocer cuántos y cuáles son los estudios desarrollados hasta el momento. De este modo, los investigadores podrán identificar las tendencias actuales; además, conocer estos resultados permitirá situarse en trabajos anteriores que han sido validados mediante estrategias empíricas.

En la Figura §5.6 se puede ver que el proceso al que más atención han prestado los investigadores es el ingeniería de requerimiento del dominio. En concreto, se encontró 41 estudios, subdivididos en 28 casos de estudio, doce experimentos y un cuasi-experimento (66,13%). Otros procesos que también

predominaron fueron Diseño de Dominio con 25 estudios (40,32 %) y gestión de producto con 26 estudios (41,94 %).

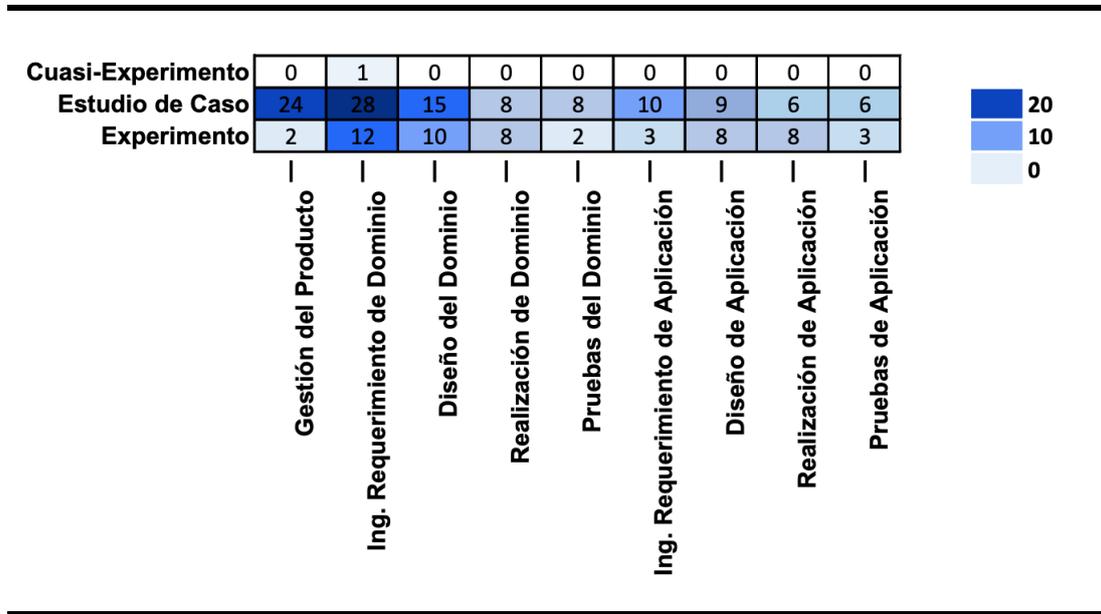


Figura 5.6: Estrategias empíricas utilizadas en procesos SPLE

Alrededor del 66,12 % de los estudios abordan temas relacionados con los requisitos de dominio, mientras que hay otras áreas, especialmente relacionadas con la ingeniería de aplicaciones, que han recibido menos atención. Se consideró que esto se debió al hecho de que, al ser el primer proceso del marco SPLE y una actividad fundamental a la hora de gestionar las líneas de productos de software, estas actividades se realizan de forma implícita o explícita en las diferentes empresas. Por ejemplo, la mayoría de las empresas, (si no todas) gestionan una cartera de productos cuando aplican una estrategia SPLE.

Se observó que los procesos del marco de trabajo a los que se ha prestado menos atención (con sólo siete artículos) son el proceso de pruebas de dominio, el de realización de aplicaciones y el de pruebas de aplicaciones. El proceso de pruebas de dominio es responsable de la validación y verificación de los componentes reutilizables. El proceso de realización de la aplicación, crea la aplicación y el proceso de pruebas incluye las acciones necesarias para validar y comprobar una aplicación de acuerdo con su especificación. Es posible que se haya prestado menos atención a los procesos antes mencionados porque permiten realizar tareas más complejas como la creación y verificación de aplicaciones. Se considera que hay una oportunidad para los investigadores, ya que estos procesos, al no haber sido atendidos, requieren más investigación empírica.

Cabe señalar que en algunos estudios primarios se evaluaron más de un proceso marco SPL. En tal caso se contabilizaron todas las actividades que se cubrieron, lo que significa que la suma no es igual al número de estudios primarios analizados, 62.

En las tablas §5.4 y §5.5 se realizó la extracción de datos de los artículos primarios de los estudios de casos y experimentos respectivamente, se utilizó una nomenclatura para las columnas 11, 12, 13, 14 y 15 de las tablas §5.4 y §5.5 se detalla a continuación.

- Lo que se evalúa:
 - TE = Técnica
 - P = Proceso
 - TO = Herramienta
- Objetivo empírico
 - S = Propuesta del mismo documento
 - E = Evalúa una propuesta existente
 - R = Réplica de un experimento
- Entorno de estudio
 - A = Académico
 - I = Industrial
- Entorno de estudio
 - A = Académico
 - I = Industrial
- Número de participantes
 - L = ≤ 20
 - M = > 20 y ≤ 100
 - H = > 100
 - - = No especificado.
- Tipo de muestra
 - SR = Muestreo aleatorio simple
 - ER = Muestreo aleatorio estratificado
 - C = Muestreo de conveniencia
 - - = No especificado

#Paper	Gestión de producto	Ing.Requir.Dom	Diseño Dominio	Realización Dominio	Pruebas Dominio	Ing.Requir.App	Diseño Aplicación	Realización de Aplicación	Pruebas de Aplicación	Qué se evalúa	Objetivo empírico	Entorno de estudio	No. Participantes	Tipo de muestra	Tema
Ahmed[5]	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	P	E	I	M	C	Gestión de la organización, Comportamiento de la organización
Berger [6]	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	P	E	I	-	-	SPL, SPL, Modelización de la variabilidad, Soft empírico. Engineering, Soft. Ecosistemas
Classen[7]	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	TO	S	I	-	-	Modelos de características, Código, Modelización, Lenguaje
Costa[8]	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	TE	S	I	L	-	Ontología, modelo de características
Da Silva[9]	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	P	E	I	L	C	Ingeniería de requisitos, métodos ágiles, alcance de SPL.
Da Silva[10]	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	P	E	I	L	C	Enfoque ágil y multimétodo
Deelstra[11]	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	P	E	I	-	-	Derivación de productos, Gestión de la variabilidad
Deelstra[12]	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	P	S	I	-	-	Variabilidad, Evaluación, Evolución
Dey[13]	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	P-TO	S	I	L	-	Elicitación de requisitos, sistemas adaptativos
De Souza[14]	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	-	-	P	E	I	L	C	Derivación del producto
Díaz[15]	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	P	S	I	L	-	AIingeniería ágil de la línea de productos.
Díaz[16]	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	TE	S	I	L	-	Trazabilidad M., Arquitectura de la línea de producción, Variabilidad
Echeverría[17]	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	TE	E	I	L	-	SPL, SPL, modelización de la variabilidad, usabilidad
Eklund[18]	-	-	✓	-	-	-	✓	-	-	P	E	I	L	-	Arquitectura, Proceso
Engström[19]	-	-	-	-	✓	-	-	-	✓	P	E	I	L	-	Pruebas blandas, Superposición, Redundancia, Eficiencia
Eriksson[20]	-	✓	✓	-	-	-	-	-	-	P	S	I	L	-	Modelo de características, gestión de la variabilidad
Ferreira[1]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	P	E	I	L	C	Adopción de SPL, enfoque multimétodo
Figueiredo[21]	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	TE	E	A	L	-	SPL, programación orientada a aspectos, evaluación empírica.
Galster[22]	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	P	E	I	L	-	Variabilidad, Sistemas de software empresarial
Ganesan [23]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	TE	E	I	L	-	SPL aplicando la simulación de Monte-Carlo
Hanssen[24]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	P	E	I	L	-	Desarrollo de productos blandos, desarrollo blando ágil
Hanssen[25]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	P	E	I	L	-	Desarrollo ágil de software, Investigación cualitativa
Kim[2]	-	✓	✓	-	-	-	-	-	-	P-TO	S	I	L	SR	Requisitos del dominio, arquitectura del dominio, atributo de calidad
Koziolek[26]	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	P	S	I	-	-	Análisis de dominio , Caso de negocio
Martínez [27]	✓	✓	-	-	-	✓	-	-	-	TE	E	A	L	-	SPL, ingeniería inversa, adopción de SPL extractivo
Myllärniemi [28]	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	-	-	TE	S	I	L	C	SSPL, variabilidad, arquitectura
Oliveira[29]	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	P	S	A	L	C	Requir. Especificación, Reutilización
Pardo[30]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	P	E	I	L	-	Desarrollo ágil de software, pensamiento de diseño
Patzke[31]	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	P	S	I	-	-	Evolución del código SPL, medición de SPL basada en objetivos, olores del código de variabilidad
Rubin [32]	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	P	E	I	-	-	SPL heredado, variantes de productos clonados.
Souza[33]	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	TE	E	I	L	C	Control de calidad suave, inspección suave.
Thurimella [34]	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	TE	S	A	H	SR	Gestión de la variabilidad,modelización de la variabilidad
Usman[35]	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	P-TO	S	I	-	-	Aplicaciones móviles, modelo de características
Wille [36]	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	TE	S	I	L	-	Minería de la variabilidad, arquitectura técnica, arquitectura empresarial
Zhang[37]	-	✓	-	-	-	✓	-	-	-	TE	S	A	L	-	Marco de requisitos no funcionales, característica M.

Tabla 5.4: Estudios empíricos sobre SPLE con estudio de caso.

#Paper	Gestión de producto	Ing.Requir.Dom	Diseño Dominio	Realización Dominio	Pruebas Dominio	Ing.Requir.App	Diseño Aplicación	Realización de Aplicación	Pruebas de Aplicación	Qué se evalúa	Objetivo empírico	Entorno de estudio	No. Participantes	Tipo de muestra	Tema
Accioly[38]	-	-	-	-	✓	-	-	-	✓	TE	R	A	M	SR	Pruebas de caja negra
Ahmed[39]	-	-	✓	-	-	-	✓	-	-	TE	E	I	M	C	Arquitectura de software, ingeniería de dominio
Asadi[40]	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	TE	E	A	L	SR	Herramientas FM, visualización e interacción
Bagheri[41]	-	✓	-	-	-	✓	-	-	-	TE	S	A	L	-	Característica M., Atributos de calidad, Predicción suave.
Bonifácio[42]	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	TE	E	A	M	C	Ingeniería de requisitos, modularidad del software
Cetina[43]	-	-	✓	-	-	-	✓	-	-	TE	E	A	-	-	SPL dinámico, Configuración de tiempo de ejecución
Denger[44]	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	TE	S	A	L	C	SPL, componentes reutilizables, garantía de calidad, pruebas funcionales
Dermeval[45]	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	TE	E	A	L	SR	Modelado de características, Ontología
Feigenspan[3]	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	TE	S	A	M	C	Visualización de programas, Comprensión de programas
Gonzalez-Huerta[46]	-	-	✓	-	-	-	✓	-	-	TE	S	A	M	SR	Arquitectura de software, atributos de calidad
Guana[47]	-	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	TE	S	I	-	-	Arquitectura blanda, Gestión de la variabilidad
Kumar[4]	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	TE	E	A	H	ER	Variabilidad, Ingeniería de requisitos, Métodos mixtos
Liu[48]	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	TE	S	A	M	SR	Análisis de dominio, extracción de características
Martínez[49]	-	-	-	✓	-	-	✓	✓	-	TO	S	A	L	C	Ingeniería SPL, ingeniería inversa, explotación de activos existentes
Michalik[50]	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	TE	S	I	L	C	SPL, actualizaciones en línea, experimentación
Pereira[51]	-	-	✓	✓	-	-	✓	✓	-	TE	S	A	M	C	SPL, toma de decisiones en tiempo de ejecución, autoconfiguración, sistemas de recomendación.
Reinhartz-Berger[52]	-	✓	✓	-	-	-	-	-	-	TE	S	A	M	ER	Análisis de la variabilidad, comprensión del modelo, estudio empírico
Reinhartz-Berger[53]	-	✓	✓	-	-	-	-	-	-	TE	E	A	H	-	Gestión de la variabilidad, modelos de dominio.
Reinhartz-Berger[54]	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	TE	E	A	M	SR	Modelización de la variabilidad, modelización de las características
Saeed[55]	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	TE	E	A	M	SR	Modelos de características, evaluación visual de la sintaxis
Santos[56]	-	-	-	✓	-	-	-	✓	-	TE	S	I	L	C	Ingeniería de SPL, dominio de sistemas web, composición de características
Schulze[57]	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	TO	S	A	L	-	SPL dinámico, modelización de la variabilidad
Sinnema[58]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	P	E	I	L	-	Suave. Gestión de la variabilidad, validación ind.
Stein[59]	-	✓	✓	-	-	-	-	-	-	P	S	A	M	C	Configuración del modelo de características, preferencias
Thüm[60]	-	-	-	✓	-	✓	✓	-	-	P	S	A	M	C	SPL, variabilidad del preprocesador, evolución, mantenimiento.
Vasilevskiy[61]	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	P	S	A	L	C	Realización, derivación del producto, bvr; línea de producto, punto de variación del modelo
Wang[62]	-	-	✓	✓	-	-	✓	✓	-	TE	S	A	M	SR	Modelado de usuarios, arquitectura de líneas de productos

Tabla 5.5: Estudios empíricos sobre SPLE con experimentos.

arreglar las etiquetas

5.3.1.3. RQ1.3: ¿En qué contexto se realiza la investigación empírica?

Esta pregunta permitió revelar cuál fue el entorno del estudio (académico o industrial), el número de subproyectos que participaron en el estudio, el objetivo y la intención de utilizar la estrategia empírica. La Tabla 5.6 detalla esta información para las fuentes estudiadas.

Elementos de Contexto	Valores
Ámbito del estudio	-Académico -Industrial
Número de participantes	No.
¿Qué se está evaluando?	-Técnica -Método -Herramientas -Métodos y herramientas
La intención del método aplicado	-Evalúa una propuesta del mismo artículo -Evalúa una propuesta existente -Es una réplica

Tabla 5.6: Elementos de contexto

Entorno del estudio. Este aspecto del contexto pretende determinar si el entorno en el que se han realizado los estudios es académico, industrial o ambos. En la Figura 5.7, se agruparon los datos de las tablas 5.4 y 5.5 para ilustrar que la mayoría de los estudios de casos se realizaron en un contexto industrial, mientras que, la mayoría de los experimentos se llevaron a cabo en un contexto académico. Se puede deducir que el SPLE gana cada vez más terreno en el ámbito industrial. Mientras que 30 estudios de caso se realizaron en un entorno industrial, sólo cinco se llevaron a cabo en un entorno académico. Sin embargo, al analizar los experimentos, se observó que sólo cinco se realizaron en un contexto industrial, mientras que 22 se llevaron a cabo en un contexto académico. Este comportamiento puede responder a varios factores. Uno de ellos es el tipo de diseño de la estrategia empírica utilizada. Según Wohlin y otros [210, Pag.12], los experimentos son más rígidos en el momento de la ejecución respecto a la flexibilización de los estudio de caso. Además, los

experimentos exigen más tiempo y recursos, tanto humanos como económicos. Es probable que estos factores sean la razón por la que las industrias o los propios investigadores hayan desistido de realizar más experimentos en un entorno industrial.

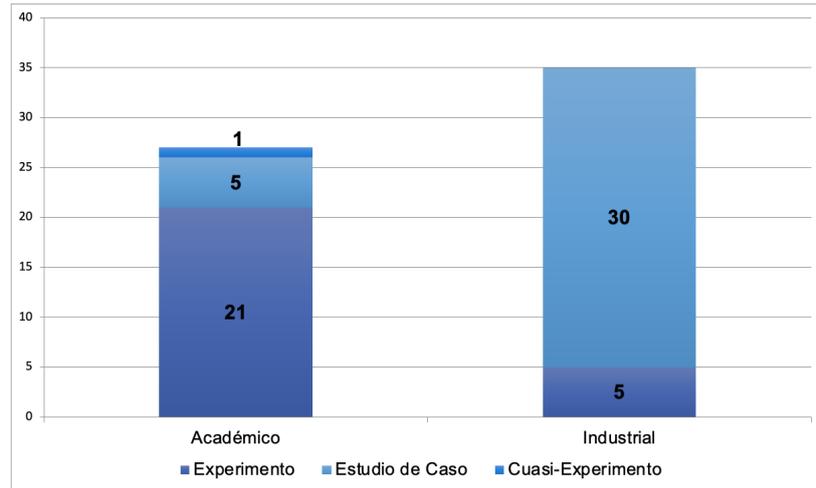


Figura 5.7: Ámbito de estudio

Número de participantes Este elemento del contexto proporciona el número de personas que participaron en los estudios analizados. Para el presente estudio se reconoce como participantes a aquellos individuos que fueron observados o formaron parte del estudio primario que se analizó; ya sea un estudio de caso, experimento o cuasi-experimento.

Rango	Participantes	Artículos	Porcentaje
L	≤ 20	35	56,45 %
M	> 20 and ≤ 100	14	22,58 %
H	>100	3	4,84 %
-	No especificado	10	16,13 %
	TOTAL	62	100 %

Tabla 5.7: Número de participantes

Como se observa en la Tabla §5.7, se definieron tres rangos de números de participantes. En 10 estudios de la muestra total no se especificó el número de participantes. También se puede observar que 35 estudios primarios han trabajado con una muestra pequeña para la ejecución de la estrategia empírica. Sólo tres estudios, que representan el 4,8 % del total, utilizaron una muestra superior o igual a 100 participantes. Se cree que este comportamiento de selección de la muestra fue motivado por trabajar con una muestra representativa, por lo que utilizaron criterios subjetivos basados en la investigación que querían realizar. Este criterio fue propuesto para justificar el número de participantes en su investigación.

Muestra	Experimentos	Estudios de Casos	Cuasi-Experimento	Frecuencia	Porcentaje
Aleatorio simple	8	2	0	10	16,12 %
Aleatorio estratificado	1	0	1	2	3,23 %
Por conveniencia	11	8	0	19	30,65 %
No especificado	6	25	0	31	50 %
TOTAL	26	35	1	62	100 %

Tabla 5.8: Tipos de muestra

También se extrajo información sobre el tipo de muestra utilizado en las investigaciones. La Tabla §5.8 muestra que el 50 % de los estudios. Es decir, 31 estudios, no indican cómo obtuvieron la muestra. Este aspecto debe mejorarse. Debería justificarse adecuadamente cómo eligieron a los participantes para generalizar las respuestas del estudio. La mayoría de los experimentos y estudios de casos eligieron la muestra por conveniencia, aunque el 50 % de los trabajos no indicaron el muestreo.

¿Qué se evalúa al aplicar estrategias empíricas? Según Basili y otros [72], Shull y otros [189], *"el desarrollo de nuevas técnicas, métodos y herramientas es una de las principales preocupaciones de la investigación en ingeniería de software"*. Los puntos débiles y las ventajas de estas tecnologías pueden identificarse mediante la realización de estudios empíricos. A partir de las contribuciones encontradas en los estudios primarios, se confirmó esta afirmación;

es decir, las estrategias empíricas aplicadas en SPLE tienen como objetivo evaluar las propuestas de nuevas técnicas, métodos o herramientas.

Opción	Experimentos	Estudios de Casos	Quasi-Experimentos	Total
Técnica	20	11	1	32
Métodos	4	20	0	24
Herramientas	2	1	0	3
Procesos y Herramientas	0	3	0	3
TOTAL	26	35	1	62

Tabla 5.9: ¿Qué se evalúa?

La Tabla §5.9 muestra que la mayoría de los experimentos se encargaron de evaluar técnicas, obteniendo 20 estudios primarios que realizan esta tarea. Los estudios de caso sirvieron mayoritariamente de apoyo para evaluar métodos (20 estudios primarios). Cabe destacar que en tres estudios primarios los estudios de casos se encargaron de evaluar dos elementos presentados en el artículo. Es decir, través del estudio de caso se evaluaron métodos y herramientas.

Se observó que los investigadores prefieren en su mayoría evaluar sus técnicas mediante experimentos. Se consideró que este comportamiento responde al hecho de que el experimento genera datos cuantitativos exactos y les permite explicar o demostrar estadísticamente si las técnicas utilizadas resuelven una situación. Mientras que, los investigadores prefieren realizar estudios de caso a la hora de evaluar los métodos, ya que los datos cualitativos que se recogen permiten identificar los factores clave que inciden en el método evaluado.

¿Cuál era la intención del método aplicado? Se utilizan los tres posibles objetivos del método aplicado (encontrados en las fuentes primarias), que se muestran en las filas de la Tabla §5.10, mientras que, las estrategias empíricas utilizadas se muestran en las columnas. De este modo, se observó que sólo uno de los experimentos reportados formaba parte de una réplica, mientras

que la mayoría de los estudios de caso (19) y nueve experimentos evaluaban una propuesta existente. La mayoría de ellos tenían como objetivo reafirmar hallazgos importantes en trabajos presentados anteriormente. Otra parte de los estudios de caso (16) y experimentos (16) tuvo como objetivo evaluar una propuesta dada en el mismo artículo. Es decir, estos estudios propusieron una nueva técnica, método o herramienta respectivamente para abordar algún aspecto del SPLE y mediante la estrategia empírica evaluaban lo factible o eficiente de su propuesta.

Opción	Experimentos	Estudios de Casos	Cuasi-Experimentos	Total
Evalúa una propuesta del mismo artículo.	16	16	0	32
Evalúa una propuesta existente	9	19	1	29
Es una réplica de un experimento	1	0	0	1
TOTAL	17	25	1	62

Tabla 5.10: Objetivo empírico

Resultados claves

- La estrategia empírica más utilizada en las asignaturas SPLE es el estudio de casos con aproximadamente un 56 % mientras que el resto de estudios primarios utilizan la experimentación.
- Alrededor del 95,16 % de los estudios abordan cuestiones relacionadas con la ingeniería de dominio, mientras que la ingeniería de aplicaciones recibe menos atención.
- El 86 % de los casos prácticos se han realizado en un entorno industrial.
- El 81 % de los experimentos se realizaron en un entorno académico.
- El 50 % de los estudios primarios no especifican el tipo de muestra que se utilizó para determinar los participantes del estudio.

5.3.2. ¿Cuál es la calidad de los estudios empíricos reportados en SPLE?

Podría haber diferentes formas de medir la calidad de las fuentes primarias. Se utilizó guías conocidas que se deben seguir en la ingeniería de software empírica. La contribución se fundamentó en las directrices de Wholin [210] para evaluar la madurez del método de los experimentos y en [180] y [177] para evaluar los casos de estudio. Tenga en cuenta que se consideró un único cuasi-experimento como un experimento para evaluar su madurez porque se desarrolló en un entorno académico.

Calidad del método del experimento Los resultados se muestran en la Tabla §5.11 con los 15 criterios que deben cumplir los experimentos para tener calidad junto con el método utilizado. Cada criterio puede recibir un valor booleano. La Tabla §5.11 se puede analizar de dos maneras. Por un lado, se puede revisar cuántas obras cumplen cada criterio sobre un total de 27 experimentos.

Se observó que el criterio más descuidado entre los experimentos analizados (utilizado en sólo el 25,93 % de los trabajos) es la *Reducción de datos*. Este criterio busca eliminar aquellos valores atípicos que pueden invalidar una relación completamente válida. Esto también puede suceder, porque la mayoría de los estudios encontrados tienen un bajo número de participantes. En tales estudios es difícil determinar si algunas observaciones son atípicas y, además, descartar algunas de ellas implicaría descartar un gran porcentaje del conjunto de datos utilizado.

También se destacó que el criterio de *Selección de variables* se ha aplicado en el 70,37 % de los trabajos. Esto nos permite elegir variables dependientes e independientes. Este criterio debe recibir más atención porque incluye la elección de las escalas de medición, el rango de las variables y los niveles específicos en los que se realizarán las pruebas. La importancia de este criterio afecta la validez de los diferentes estudios, y por lo tanto, los autores pueden haberlo dado por sentado, haciéndolo de manera informal y no reportándolo adecuadamente.

Otros criterios que se utilizaron en menos del 80 % de los trabajos fueron *Evaluación de hipótesis*, *Evaluación de validez* y *Comprobación de hipótesis*. Son elementos intrínsecos del experimento aunque no han sido reportados adecuadamente en los estudios primarios.

Por otro lado, la Tabla §5.11 también enumera en la última columna

#Artículo	Definición de objetivo	Selección de contexto	Formulación de hipótesis	Selección de Variables	Selección de Temas	Diseño de experimentos	Instrumentación	Evaluación de Validez	Preparación	Ejecución	Validación de datos	Estadísticas descriptiva	Reducción de datos	Prueba de hipótesis	Presentación y Paquete	TOTAL
Accioly [38]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	15
Gonzalez-Huerta [46]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	15
Kumar [4]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	15
Reinhartz-Berger [53]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	15
Reinhartz-Berger [54]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	15
Asadi [40]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	14
Dermeval [45]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	14
Feigenspan [3]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	14
Michalik B. [50]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	14
Ahmed [39]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	14
Bagheri [41]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	14
Thüm T. [60]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	14
Wang [62]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	14
Denger C. [44]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	14
Saeed [55]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	14
Santos A. [56]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	14
Bonifácio [42]	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	13
Liu [48]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	13
Reinhartz-Berger [52]	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	13
Schulze [57]	✓	✓	✓	-	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	12
Pereira J. [51]	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-	12
Stein J. [59]	✓	✓	-	-	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	10
Sinnema [58]	✓	✓	✓	-	✓	-	-	-	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	9
Cetina [43]	✓	✓	✓	-	✓	-	✓	-	✓	✓	-	-	-	-	✓	8
Guana [47]	✓	✓	-	-	✓	-	-	-	✓	✓	✓	-	-	-	✓	7
Martínez J. [49]	✓	✓	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	3
Vasilevskiy A. [61]	✓	✓	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	3
TOTAL	27	27	21	19	25	22	22	21	25	25	24	22	7	20	24	331

Tabla 5.11: Resumen de los experimentos

cuántos criterios cumple cada obra. Se observó que los experimentos que obtuvieron la calificación más baja (en términos de número de criterios coincidentes) fueron [49] y [61], que cumplieron solo tres criterios y [47] y [43], que cumplían siete y ocho criterios, respectivamente. Tenga en cuenta que la calificación máxima posible es el número de criterios, 15. Al revisar los detalles sobre la publicación de estos experimentos, se evidenció que el experimento [49] y [61] se publicaron en conferencias para que se pudiera deducir que la experimentación no estaba lo suficientemente madura y los experimentos [43] y [47] se publicaron en 2013 y 2012, respectivamente; es decir, hace más de 5 años. Dado que el uso de la experimentación en SPLE no estaba tan maduro en esos años, es probable que tuvieran algunas deficiencias en el método utilizado para la ejecución del experimento.

Calidad del método de estudio de caso Los resultados de los estudios de casos se muestran en la Tabla §5.12, donde las columnas muestran los 10 criterios que deben cumplir los estudios de casos para tener calidad. En cuanto a los criterios de los experimentos, aquí es posible recibir un valor booleano con la misma connotación que en la Tabla §5.11.

Se observó que uno de los criterios aplicados por el menor número de estudios, 8 (22,86 % de los trabajos), son las *Proposiciones e Hipótesis*. Es decir, hay varios estudios en los que, ni el diseño ni la ejecución de su caso de estudio, tenían afirmaciones empíricas verificables. Otro criterio que sólo aplicaron ocho estudios es el de *Métodos de análisis de datos*; dado que los estudios de caso analizan datos cualitativos, deben mostrarse los pasos seguidos para analizar estos datos. Es decir, deben mostrarse los códigos utilizados por el investigador para el análisis de los datos.

Asimismo, el criterio de *Pregunta de Investigación* se ha aplicado en 20 estudios (57,14 % de los trabajos); nos llama la atención porque se considera que la realización de un estudio de caso requiere no solo expresar la intención de la investigación (en términos de objetivo); sino también, las preguntas de investigación. Otro criterio que los investigadores han pasado por alto es *Amenazas a la validez*, incluido en 26 estudios (74,29 % de los trabajos). Se considera que en un estudio de caso la aplicación de este criterio es muy importante porque los estudios de caso, al tener un diseño flexible, deben minimizar los efectos de la amenaza para dar mayor fiabilidad al estudio.

El criterio de *Selección de Datos* fue aplicado por 31 estudios (88,57 % de los trabajos). Este criterio busca especificar por quién y cuándo se realizará el estudio. El objetivo es asegurar la disponibilidad de las fuentes de datos, esto apoyará la triangulación de los datos y aumentará la fiabilidad y validez de los hallazgos del estudio.

#Artículo	Fundamentación	Objetivos	Casos y Unidades de Análisis	Marco teórico de referencia	Preguntas de Investigación	Proposición e Hipótesis	Métodos de recopilación de datos	Métodos de Análisis de datos	Selección de datos	Amenazas a la validez	Total
Ahmed [5]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	9
da Silva [9]	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	9
Dey S. [13]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	9
De Souza LO. [14]	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	9
Díaz J. [15]	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	9
Díaz J [16]	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	9
Engström E. [19]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	9
Eriksson M. [20]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	9
Galster M. [22]	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	9
Koziolek H. [26]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	9
Oliveira RPD. [29]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	9
Costa GCB. [8]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	9
Ferreira J. [1]	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	9
Souza IS. [33]	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	-	✓	✓	8
Da Silva IF. [10]	✓	✓	-	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	8
Berger T. [6]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	-	8
Echeverría J. [17]	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	-	✓	✓	8
Hanssen GK. [24]	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	8
Myllärniemi V. [28]	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	-	✓	✓	8
Kim J. [2]	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	-	✓	✓	7
Hanssen GK. [25]	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	-	✓	✓	7
Thurimella A. [34]	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	-	✓	✓	7
Eklund U. [18]	-	✓	✓	✓	-	-	✓	-	✓	✓	6
Deelstra S. [11]	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	-	✓	-	6
Zhang G. [37]	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	✓	✓	6
Patzke T. [31]	✓	-	✓	✓	-	-	✓	-	✓	✓	6
Wille D. [36]	✓	✓	-	✓	✓	-	-	-	✓	✓	6
Classen A. [7]	✓	✓	-	✓	✓	-	✓	-	-	-	5
Deelstra S. [12]	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	-	-	-	5
Ganeson D. [23]	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	✓	-	5
Martinez J. [27]	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	-	-	-	5
Usman M. [35]	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	✓	✓	5
Pardo A. [30]	-	✓	✓	✓	-	-	✓	-	-	-	4
Figueiredo E. [21]	✓	✓	-	✓	-	-	-	-	✓	-	4
Rubin J. [32]	✓	-	✓	✓	-	-	-	-	✓	-	4
TOTAL	33	33	31	34	20	8	29	8	31	26	253

Tabla 5.12: Resumen de los estudios de caso

Los casos de estudio están ordenados en la Tabla §5.12 en orden descendente según el número de criterios que cumplieron. Los casos de estudio que obtuvieron la menor calificación fueron [30], [21] y [32] que cumplieron solo con cuatro criterios. Los casos de estudio [7], [12], [23], [27] y [35] cumplieron cinco criterios. Se consideró que el diseño del estudio de caso no ha sido lo suficientemente específico, o al menos no ha sido reportado en los estudios primarios y ha dejado de lado aspectos importantes.

Al igual que en la evaluación del experimento, la Tabla §5.12 muestra los casos de estudio más valorados según criterios coincidentes por lo que podría servir de guía para el uso de un método adecuado. se recomienda prestar más atención a los elementos que otros investigadores pasaron por alto, con el objetivo de corregir estas lagunas en futuras contribuciones.

Se evaluó la calidad del resumen presentado como complemento a la evaluación de los estudios de caso. Esta evaluación se inspiró en el trabajo de Robson [177] donde especifica las características que debe tener un informe de estudio de caso, mostradas en la Tabla §A.5 del Apéndice §A.3.

Luego de analizar los casos de estudio y verificar si cumplían con las características señaladas por Robson para la presentación de informes de casos de estudio, se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla §5.13. Se puede observar que los estudios que obtuvieron menor valoración son similares a la calificación obtenida en la Tabla §5.12 donde se trató la calidad del método empleado. Se recomienda que, para la evaluación obtenida en la presentación de los informes de los estudios de caso, los datos se proporcionen de forma enfocada, para que el lector pueda tener confianza en las conclusiones (C4) y estas conclusiones deben articularse mejor de acuerdo con el contexto en el que se encuentran afectando (C5).

Finalmente, se destaca que solo el 59,26 % de los experimentos (14 o más criterios cumplidos) y el 54,29 % de los casos de estudio (8 o más criterios cumplidos) obtuvieron una calificación adecuada al ser evaluados. Se supone que esta baja calificación puede deberse a la desconexión entre la comunidad SPL y la ingeniería de software empírica [104]. Afortunadamente, hay esfuerzos recientes que intentan cerrar esa brecha. Por ejemplo, los números especiales de SPLC'19 y SPLC'10 se están editando en la revista *Empirical Software Engineering*. También, el taller de SPLE empírico que se está realizando en las últimas ediciones de la conferencia [95]. Se espera que con tales acciones, los estudios a informar tengan en cuenta estas directrices.

#Artículo	C1	C2	C3	C4	C5	Total
Ahmed F. [5]	1	1	1	1	1	5
Da Silva IF. [9]	1	1	1	1	1	5
Díaz J. [15]	1	1	1	1	1	5
Echeverría J. [17]	1	1	1	1	1	5
Eriksson M. [20]	1	1	1	1	1	5
Galster M. [22]	1	1	1	1	1	5
Ganeson D. [23]	1	1	1	1	1	5
Koziolek H. [26]	1	1	1	1	1	5
Martinez J. [27]	1	1	1	1	1	5
Millärniemi V. [28]	1	1	1	1	1	5
Oliveira RPD. [29]	1	1	1	1	1	5
Rubin J. [32]	1	1	1	1	1	5
Wille D. [36]	1	1	1	1	1	5
Dey S. [13]	1	1	1	1	0	4
Díaz J. [16]	1	1	1	1	0	4
Engström E. [19]	1	1	0	1	1	4
Ferreira J. [1]	1	1	0	1	1	4
Figueiredo E. [21]	1	1	0	1	1	4
Kim J. [2]	1	1	0	1	1	4
Berger T. [6]	1	1	0	0	0	2
Classen A. [7]	1	1	0	0	1	3
Costa GCB. [8]	1	1	1	0	0	3
Da Silva IF [10]	1	1	0	0	1	3
De Souza LO. [14]	1	1	0	0	1	3
Deelstra S. [11]	1	1	0	0	1	3
Hanssen GK. [25]	1	1	0	0	1	3
Eklund U. [18]	1	1	0	0	1	3
Pardo A. [30]	1	1	0	0	1	3
Patzke T. [31]	1	1	0	1	0	3
Thurimella A. [34]	1	1	1	0	0	3
Usman M. [35]	1	1	0	0	1	3
Zhang G. [37]	1	1	1	0	0	3
Deelstra S. [12]	1	1	0	0	0	2
Hanssen GK. [24]	1	1	0	0	0	2
Souza IS.[33]	1	1	0	0	0	2
TOTAL	35	35	18	20	25	133

Tabla 5.13: Características que debe tener un informe de estudio de caso [177]

Resultados clave

- El 18,52 % de los experimentos cumplían todos los criterios recomendados por Wholin [210]
- El 37,14 % de los casos de estudio cumplían nueve de los 10 criterios recomendados por Runeson [180]
- El 49 % de los estudios muestra debilidad a la hora de aportar la historia de la indagación (C3)

5.3.3. ¿Cuál es el alcance de la investigación empírica en SPLE?

5.3.3.1. RQ3.1. ¿En qué revistas o congresos se publican este tipo de artículos?

Rank	No. Papers	JournalConference	EXP	CS	QUASI
1	15	International Systems & Software Product Line Conference	7	8	0
2	12	Journal of Systems and Software	2	9	1
3	12	Information and Software Technology	5	7	0
4	4	Empirical Software Engineering	3	1	0
5	3	Science of Computer Programming	1	2	0
6	3	International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement	2	1	0
7	2	Journal of Universal Computer Science	1	1	0
8	2	Software Quality Journal	1	1	0
9	2	Software - Practice and Experience	0	2	0
10	1	Journal of Biomedical Informatics	0	1	0
11	1	Requirements Engineering	0	1	0
12	1	User Modeling and User-Adapted Interaction	1	0	0
13	1	Expert Systems with Applications	1	0	0
14	1	Software and Systems Modeling	1	0	0
15	1	IET Software	1	0	0
16	1	International Conference on Software Engineering	0	1	0

Tabla 5.14: Número de artículos por revista o congreso

Esta pregunta nos permite conocer y señalar las revistas o congresos más adecuados para los investigadores que estén interesados en realizar futuras contribuciones en SPLE apoyados en la ingeniería de software empírica. La

Tabla §5.14 muestra la lista de revistas y congresos donde se han publicado los artículos y las estrategias empíricas utilizadas (con las siglas EXP para experimento, CS para estudio de caso y QUASI para cuasiexperimento).

Se puede observar que las fuentes preferidas por los autores a la hora de realizar una contribución han sido la International Systems Software Product Line Conference y las revistas Journal of Systems and Software, e Information and Software Technology. Vale la pena mencionar que esas conferencias no tienen como objetivo específico la investigación empírica y están más enfocadas en la ingeniería de software. Por el contrario, los lugares que tienen su enfoque principal en la ingeniería de software empírica no publican muchas contribuciones relacionadas con la línea de productos.

5.3.3.2. RQ3.2. ¿Cuál es la evolución temporal en este tipo de estudios?

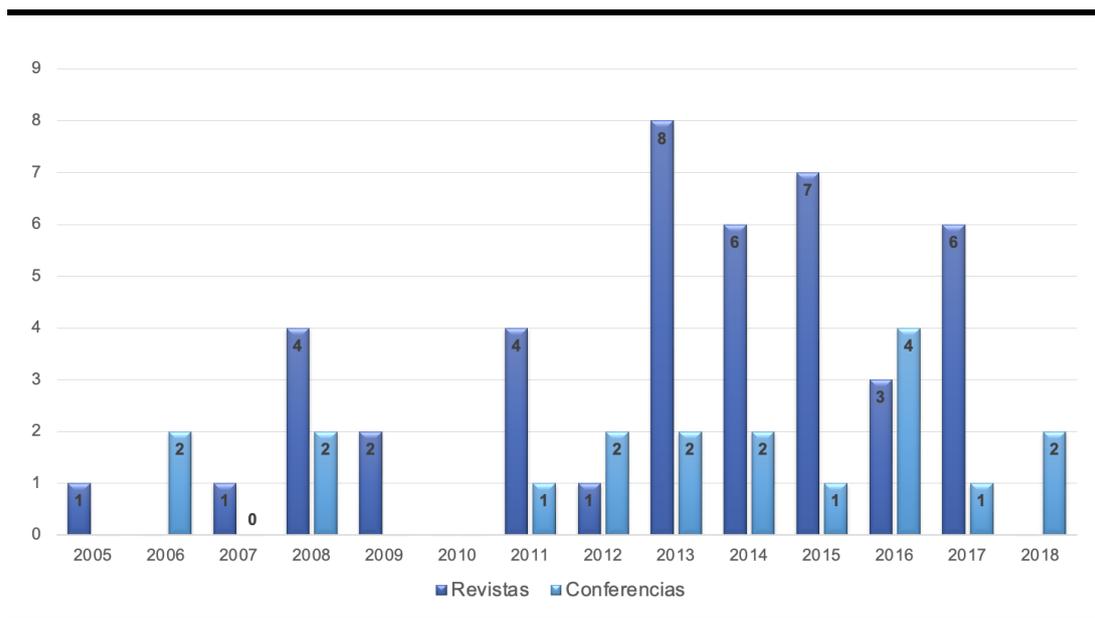


Figura 5.8: Cronología de publicación de trabajos

Este dato permite saber a partir de qué año se han realizado más aportaciones empíricas en SPLE.

La Figura §5.8 muestra que el número de estudios empíricos ha crecido desde 2004. Se considera que esta evolución responde a la necesidad de evaluación y validación de las investigaciones recientes. Además, como menciona Wohlin y otros [210], ahora se reconocen más estrategias empíricas en ingeniería de software que hace diez años. En la Figura §5.9 se observó que en

el 2013 aumentó el número de casos de estudio y no ha tenido mucha variación desde entonces. Hay que tener en cuenta que después de filtrar, no se incluyó ningún artículo de 2010 en las fuentes primarias.

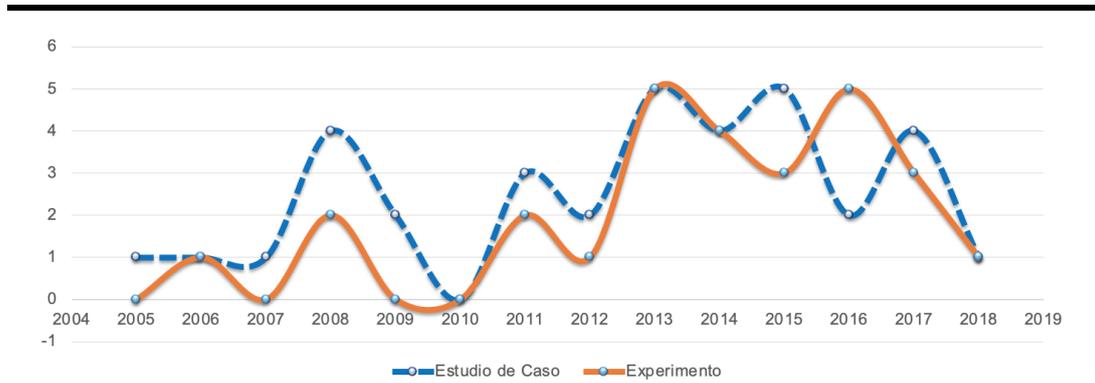


Figura 5.9: Evolución de los estudios según las estrategias

Año	Estudio de caso	Experimento
2005	[11]	-
2006	[23]	[44]
2007	[5]	-
2008	[2] [24] [21] [34]	[39] [58]
2009	[12] [20]	-
2010	-	-
2011	[7] [30] [25]	[41] [50]
2012	[31][6]	[57]
2013	[18] [33] [19] [32] [28]	[3] [43] [4] [62] [47]
2014	[29] [15] [37] [9]	[53] [38] [59] [52]
2015	[16] [22] [8] [10] [14]	[46] [45] [49]
2016	[26] [17]	[40] [55] [56] [61] [60]
2017	[1] [13] [35] [36]	[54] [42] [48]
2018	[27]	[51]

Tabla 5.15: Estrategias empíricas clasificadas por año

Para tener más detalles sobre esta evolución, se presentó estos estudios clasificados por estrategia empírica y año de publicación en Tabla §5.15 y Figura §5.9. En la Figura §5.9, se observa que tanto los experimentos como los casos

de estudio han aumentado el número de publicaciones desde 2010 a 2013, han mantenido las publicaciones entre 2013 y 2017 y han disminuido en 2017 y 2018.

5.3.3.3. RQ3.3.¿Qué autores investigan en esta área?

Esta pregunta permite conocer los autores e instituciones que investigan SPL apoyados en estudios empíricos. De esta forma, se conocerá qué instituciones tienen conocimiento en el tema, lo que permitirá detectar y fomentar la colaboración entre investigadores.

La Tabla §5.16 enumera la cantidad de estudios empíricos por autor (con más de un artículo escrito) junto con un mapa de calor para la cantidad de veces que cada proceso del marco es abordado (usando sus siglas) por autor. Nuevamente, los procesos con más estudios son gestión de producto, requerimiento de dominio y diseño de dominio. Este mapa de calor también destaca cuántas veces un autor ha utilizado cada estrategia experimental.



Figura 5.10: Clasificación de artículos según el país

La Tabla §5.16 muestra los nombres de los autores junto con sus afiliaciones. Cabe mencionar que los autores tuvieron baja continuidad de publicaciones sobre los mismos temas. Por tanto, aunque hay un crecimiento en este tipo de contribuciones, pocos autores lideran esta área de investigación. Esto puede deberse al tiempo requerido para informar un estudio de caso o realizar experimentos, que según nuestra experiencia puede llevar años y, por lo tanto, el rendimiento de publicación es menor en general. Los autores de Brasil, Alemania y España son los que tienen más publicaciones. La Figura

No. Artículos	Autor	País	Institución
6	Eduardo Santana de Almeida	Brazil	Federal University of Bahia (UFBA)
5	Silvio Romero de Lemos Meira	Brazil	Federal University of Pernambuco (UFPE)
4	Paulo Anselmo da Mota	Brazil	Reuse in Software Engineering (RiSE), Brazil
	Silveira Neto		
4	Pádraig O'Leary	Ireland	Lero – The Irish Software Engineering Research Centre
3	Reinhartz-Berger Iris	Israel	University of Haifa
3	Jan Bosch	Sweden	Chalmers University of Technology
3	Saake Gunter	Germany	University of Magdeburg
3	Sybren Deelstra	The Netherlands	University of Groningen
3	Sinnema Marco	The Netherlands	University of Groningen
2	Kathrin Figl	Austria	Institute for Information Systems
2	Accioly Paola	Brazil	Federal University of Pernambuco
2	Borba Paulo	Brazil	Federal University of Pernambuco
2	Bonifácio Rodrigo	Brazil	University of Brasília
2	Figueiredo Eduardo	Brazil	Federal University of Minas Gerais
2	Ivonei Freitas da Silva	Brazil	Federal University of Pernambuco (UFPE)
2	Machado Ivan do Carmo	Brazil	Federal University of Bahia – UFBA
2	Márcio Ribeiro	Brazil	Federal University of Alagoas
2	Capretz Luiz Fernando	Canada	University of Western Ontario
2	Faheem Ahmed	Canada	University of Western Ontario
2	Savolainen Juha	Denmark	Danfoss Power Electronics A/S
2	Tewfik Ziadi	France	Sorbonne University UPMC
2	Dachselt Raimund	Germany	University of Magdeburg
2	Feigenspan Janet	Germany	University of Magdeburg
2	Kästner Christian	Germany	Philipps University Marburg
2	Papendieck Maria	Germany	University of Magdeburg
2	Schulze, M.	Germany	University of Magdeburg
2	Hanssen Geir K.	Norway	The Norwegian University of Science and Technology
2	Øystein Haugen	Norway	Østfold University College
2	Abrahão Silvia	Spain	Universitat Politècnica de València (UPV)
2	Cetina Carlos	Spain	Universidad San Jorge
2	Díaz Jessica	Spain	Technical University of Madrid-UPM
2	Garbajosa Juan	Spain	Technical University of Madrid-UPM
2	Gonzalez-Huerta Javier	Spain	Universitat Politècnica de València (UPV)
2	Insfran Emilio	Spain	Universitat Politècnica de València (UPV)
2	Martinez Jabier	Spain	University of Luxembourg
2	Pérez Jennifer	Spain	Technical University of Madrid-UPM

Tabla 5.16: Autores con más de dos publicaciones en evidencias empíricas

§5.10 proporciona más detalles. Es interesante notar que las investigaciones empíricas de SPL se realizan principalmente en Europa, aunque Brasil también tiene una gran cantidad de contribuyentes.

Hallazgos claves

- Las revistas preferidas por los autores a la hora de realizar una aportación con componentes empíricos en SPL han sido Journal of System and Software, Information and Software Technology y la conferencia preferida ha sido International Software Product Line Conference
- La evolución de los estudios ha ido en aumento; es decir, las estrategias empíricas en ingeniería de software son más reconocidas hoy que hace diez años.
- Los autores que más investigaciones han generado son de Brasil, Alemania, España, Canadá y Suecia.

Materiales

Los resultados de la búsqueda en bibliotecas digitales y el procesamiento de estas búsquedas se almacenaron en el sistema de bibliografía Jabref. Para acceder a estos resultados, se pone a disposición el acceso en : <https://doi.org/10.5281/zenodo.3860192> o <https://zenodo.org/badge/latestdoi/189765534>.

5.4. Resumen

En este capítulo se presentó una revisión sistemática de la literatura, con el objetivo de descubrir y resumir los estudios que han utilizado evidencias empíricas en SPL limitadas a aquellas con intervención de humanos y que se hayan publicado entre 2000 y 2018, consideramos artículos revisados por pares de revistas y conferencias de ingeniería de software de primer nivel. Se evaluó la calidad y se estudió el alcance de 62 estudios primarios a lo largo del tiempo, con la finalidad de poner a disposición de la comunidad investigadora las brechas de investigación encontradas.

Se descubrió que, aproximadamente el 56 % de los estudios utilizaron la estrategia de estudio de caso empírico, mientras que el resto utilizó estrategias

experimentales. Alrededor del 86 % de los estudios de casos se realizaron en un entorno industrial que evidenciando la inserción de SPLE en la industria.

También se evidenció que el interés por los estudios empíricos ha ido en aumento desde 2008. Alrededor del 95,16 % de los estudios abordan aspectos relacionados con la ingeniería de dominio, mientras que la ingeniería de aplicaciones recibe menos atención. La mayoría de los experimentos y casos de estudio evaluados mostraron un nivel de calidad aceptable. El primer estudio encontrado data de 2005 y desde entonces ha aumentado el interés por el SPLE empírico.

Capítulo 6

Gestión de la variabilidad: estudio de caso

Para la existencia de la ciencia es necesario cabezas que no acepten que la naturaleza debe seguir ciertas condiciones preconcebidas.

Richard Feynman

En este capítulo se presenta como contribución el diseño de un estudio de caso que permite conocer cómo las empresas realizan la gestión de la variabilidad cuando no conocen las líneas de productos de software. La aplicación del diseño del estudio de caso propuesto en esta contribución, permitirá realizar una evaluación empírica mostrando cómo las empresas que desconocen del paradigma de línea de productos de software gestionan la variabilidad de sus productos; los resultados que se obtengan de la aplicación del diseño permitirán señalar los puntos fuertes y débiles de los enfoques de las empresas donde se efectuó dicho estudio de caso, para generalizar los hallazgos encontrados se necesita de réplicas que usen exactamente el mismo protocolo. Se presenta datos preliminares de la aplicación del diseño del estudio de caso en una empresa; esta aplicación, permitió la validación del diseño objeto de esta contribución.^{†1}.

En concreto, en la Sección §6.1 se presenta la introducción. La Sección §6.2 describe el proceso y el contexto de la contribución. La Sección §6.3 presenta el diseño del estudio de caso. La Sección §6.4 presenta los resultados preliminares de la aplicación del estudio. La Sección §6.5 presenta la discusión de los resultados. Y por último, en la Sección §6.6 se presenta un resumen de esta contribución.

^{†1}En este capítulo se incluye partes publicadas en las Actas de las XXII Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos (JISBD 2017)[178] [93], y en Proceedings of the 23rd International Systems and Software Product Line Conference-Volume B [92]

6.1. Introducción

En la actualidad, las organizaciones utilizan cada vez más las líneas de productos de software (SPL) como medio para obtener mejoras en la productividad y calidad, así como para reducir el tiempo de comercialización y los costes de sus productos. De acuerdo a Clements y Northrop [100], *“una SPL representa un conjunto de sistemas de software que comparten un conjunto común de características, que satisface las necesidades específicas de un dominio particular o segmento de mercado, y que se desarrolla a partir de un sistema común de activos centrales de forma preestablecida”*

En la literatura existen varios informes de éxitos en empresas que han aplicado el paradigma de ingeniería de líneas de productos de software mencionando incluso en algunas ocasiones estudios que reportan mejoras en la productividad duplicando o triplicando los enfoques tradicionales [84, 202]. Sin embargo, es un paradigma relativamente nuevo y muchas empresas de desarrollo de software no lo aplican probablemente por desconocimiento de los beneficios que este paradigma ofrece o por los grandes esfuerzos que debería realizar una empresa para transicionar al paradigma SPLE, esfuerzos que van desde cambios en los procesos, en aspectos técnicos, organizacionales y comerciales [100]. Estos aspectos podrían ser muy importantes cuando se trata de pequeñas y medianas empresas (PYMES).

Los cambios y esfuerzos que conlleva la implementación de SPLE no necesariamente se adaptan bien a todas las empresas [87, 124, 157], Rincon [175] propone un marco llamado *A APPLIES* que permite evaluar la motivación y preparación de la organización para adoptar líneas de producto. Es importante que las empresas interesadas en adoptar SPLE analicen no solo los beneficios de adoptar SPLE; sino también, los diversos cambios que deben realizar para su adopción.

Actualmente muchas empresas de desarrollo de software se centran en el producto, debido a que los entornos de desarrollo integrado (IDE) y las metodologías sistematizan la creación de un único producto. Sin embargo, conceptos como reutilización desde hace mucho tiempo se vienen aplicando sin una planificación. Es decir, en la mayor parte de los casos la reutilización es oportunista [205]. La forma de desarrollar productos de software en estas empresas generan que los desarrolladores inviertan mucho esfuerzo para personalizar productos que respondan a las necesidades particulares de los clientes, este problema se agrava por no tener identificados activos que posibiliten la reutilización efectiva.

Los desarrolladores de software se enfrentan a grandes desafíos al momen-

to de desarrollar soluciones que busquen satisfacer las necesidades de sus clientes. Entre estos desafíos se puede mencionar: Crear un diseño de componentes de software flexibles que contribuya a la reutilización y facilidad de adaptación ante el cambio, prepararse para la evolución de los productos y distinguir las oportunidades para reutilizar de manera óptima los componentes de software previamente creados [64]. El manejo sistemático de la variabilidad reduce el esfuerzo de diseño y desarrollo debido a una mejor utilización de los artefactos desarrollados de forma planificada y con visión a ser configurables, así también, aporta mejorar costos de mantenimiento reducidos en comparación con el diseño de sistemas separados para diversos escenarios de uso [202].

El objetivo para las empresas es reutilizar los elementos comunes en sus productos y gestionar de una manera eficaz las variaciones que puedan existir en su cartera de productos. Existen dos razones fundamentales para trabajar la variabilidad como un tema central en el modelado de procesos de software. En primer lugar es importante para la reutilización del software y en segundo lugar, la gestión de la alta complejidad que se presenta hoy en día, escapa de los enfoques tradicionales.

Con el objeto de conocer como las PYMES gestionan la variabilidad en sus productos software, se estudió las metodologías aplicadas en las empresas. Posteriormente, se contrastó con las actividades y/o procesos del marco SPL definido por Pohl y otros [172] para conocer hallazgos sobre como las empresas manejan la variabilidad en sus productos y se diseñó un estudio de caso.

En esta contribución se presenta el diseño de un estudio de caso para empresas de desarrollo software; se parte de la idea de que las empresas gestionan de alguna manera la variabilidad en sus productos. El objetivo de este estudio es determinar qué conceptos de SPL se utilizan en la práctica. Como trabajo futuro, los resultados del estudio de casos puede permitirnos definir algunas prácticas de adopción de la transición al paradigma SPLE.

6.2. Proceso del estudio de caso

La elaboración del estudio de caso, se fundamenta en los pasos descritos en Runeson y otros [180] y Wohlin y otros [210]. El primer paso es el diseño del estudio, en este paso se planifican y definen los objetivos del estudio de caso. El segundo paso es la preparación de la recogida de datos, en esta etapa se definen los procedimientos y protocolos de recogida de datos. El tercer paso es la recopilación de datos, en este paso se recogen los datos relacionados al tema

a investigar. El cuarto paso, el análisis de los datos recogidos donde se efectúa el procedimiento de análisis de los datos que posteriormente permite obtener las conclusiones del estudio. Por último, en el quinto paso, la presentación de informes, se deben difundir los resultados y las conclusiones, mostrando las pruebas suficientes del estudio. Para mayor detalle de las etapas que se deben seguir para el diseño de un estudio de caso ver §3.4 del Capítulo §3.

ontexto planificado de la evaluación empírica.!

En esta subsección se da a conocer el contexto y perfil de las empresas para las que fue diseñado el estudio de caso. Este estudio está diseñado para la aplicación en pequeñas y medianas empresas (PYMES) de desarrollo de software. Con el objetivo de lograr una mejor comprensión de las características que debe cumplir las empresas que a futuro apliquen el diseño propuesto en esta contribución y para garantizar la réplica de estudios similares, se ha considerado que el diseño propuesto aplica a PYMES pequeñas (entre 10 y 50 trabajadores)y mediana (50 y 250 trabajadores), otra característica a tener en cuenta es que el diseño considera que las empresas desconocen del paradigma de ingeniería en línea de productos y que las empresas que intervengan en el estudio gestionen una cartera de productos similares; por lo tanto, el objetivo del diseño del estudio de caso es estudiar cómo las empresas de software de características similares (PYMES) gestionan la variabilidad en el desarrollo de sus productos software.

El diseño del estudio de caso está planificado para aplicarlo en empresas que estén ubicadas en partes diferentes del mundo para que el estudio esté menos sesgado por las tradiciones sociales de un área. Se espera observar diferencias en los procedimientos de trabajo, lo que hará más interesante obtener factores comunes.

6.3. Diseño del estudio de caso

A continuación se presenta el diseño del estudio de caso para conocer cómo las empresas realizan la gestión de la variabilidad cuando no aplican el paradigma de líneas de productos de software.

6.3.1. Justificación y objetivo

Se planifica realizar el estudio de caso porque se desea conocer cómo las empresas manejan la variabilidad en sus productos y compararlas con el para-

paradigma SPL a nivel de gestión de producto, ingeniería de requisitos e ingeniería de aplicaciones; es decir se desea analizar la aplicación práctica del paradigma de SPL en las empresas. Se espera encontrar hallazgos que permitan conocer como las empresas gestionan la variabilidad, el resultado de este esfuerzo puede ser fundamental para posibilitar la futura transferencia de la investigación académica a entornos industriales.

6.3.2. Caso y unidades de análisis

El estudio está diseñado para aplicarse en más de una empresa. Las unidades de análisis serán la gestión de productos, la ingeniería de requisitos del dominio y la ingeniería de requisitos de la aplicación obtenidas del framework de ingeniería del SPL [172] mencionado en la Sección §2.3.

Con el objetivo de realizar un buen procedimiento de análisis y considerando que el diseño propuesto del estudio de caso atiende a empresas que desconocen la existencia de SPL. El estudio excluye los procesos relacionados con el diseño, el desarrollo y las pruebas. La razón de esta decisión es que las actividades de esas etapas exigen un mayor conocimiento del paradigma de líneas de productos software. Por lo tanto, la propuesta de estudio empírico se centra en tres procesos: la gestión de productos, la ingeniería de requisitos de dominio y la ingeniería de requisitos de aplicación.

Se han elegido los tres procesos antes mencionados, porque son los menos estrictos en cuanto a la tecnología a aplicar y porque se entiende que una empresa ejecuta estos procesos implícita o explícitamente para gestionar la variabilidad; sin embargo, se podría realizar un estudio empírico similar en los demás procesos, pero entonces el alcance del estudio sería demasiado amplio, y esa es la razón por la que esta aportación reduce previamente el alcance al proceso de gestión de productos, la ingeniería de requisitos del dominio y la ingeniería de requisitos de la aplicación.

6.3.2.1. Tipo de estudio de caso

El método de investigación que forma parte del diseño de la contribución es: estudios de casos múltiples incrustado, flexibles y exploratorios, de acuerdo con lo definido por Yin [212].

Múltiples estudios de caso incrustado. Es múltiple porque como explica Runeson y otros [180] "consiste en más de un caso de estudio; es decir, su aplicación involucra más de una empresa". La contribución propone un diseño de

estudio de caso incrustado para anticipar las necesidades de recoger, analizar e informar los detalles del caso. Además, porque se involucra a tres unidades de análisis en cada caso.

Con la aplicación de múltiples estudios de caso incrustado se busca conocer como las empresas utilizan sus metodologías en el desarrollo de software estudiando las tres unidades de análisis. Es decir, la gestión de productos, la ingeniería de requisitos de dominio y la ingeniería de requisitos de aplicación [180].

Flexible. Debido a que se puede introducir nueva información durante la etapa de colección que puede ser importante o crítica para el estudio. Con un diseño flexible, se podría actualizar el diseño del estudio [180].

Exploratorio. Es exploratorio porque se busca comprender las metodologías que las empresas utilizan para gestionar la variabilidad entre sus productos, esto nos permitirá explorar la naturaleza y las debilidades asociadas a ellas dentro de un contexto específico [167].

6.3.3. Preguntas de investigación, proposiciones e hipótesis

El objetivo principal del estudio es determinar cómo gestionan la variabilidad las empresas que no conocen los conceptos de la línea de productos de software (CNKSPL). Se considera CNKSPL a aquellas empresas que gestionan una familia de sistemas y que podrían tener soluciones para la gestión de la variabilidad aunque no sean conscientes de ello. La definición de las preguntas de investigación se ha basado en la descripción de los procesos descritos por Pohl y otros [172], considerando las tres unidades de análisis objeto de estudio.

RQ1. ¿Cómo gestionan las CNKSPL la variabilidad a nivel de gestión de productos? Para responder a esta pregunta, se planteó otras subpreguntas que nos ayudaran a conocer como realizan las empresas la gestión de la variabilidad en sus productos de desarrollo software a nivel de gestión de productos :

RQ1.1. ¿Qué tipo de medidas se toman para gestionar los diferentes productos? El objetivo de esta pregunta es identificar si los productos de la cartera de productos que maneja la empresa están relacionados, y si se fundamentan en una plataforma común.

Además, se pretende conocer si se prevén posibles cambios en las características, limitaciones legales y normas para la futura aplicación del SPL. La

respuesta que se obtenga de esta pregunta puede servir como insumo para la definición y establecimiento de prácticas de gestión de productos, y para generar variantes de productos con un coste y tiempo de desarrollo eficientes.

RQ1.2. ¿Cómo se alinean las estrategias con la definición del producto? El objetivo es identificar si las estrategias del departamento están alineadas con la definición de productos y la elección de nuevas ideas de productos. También, se pretende conocer si se pueden incluir sugerencias de características en los productos a través de la retroalimentación del documento que se genere como hoja de ruta.

RQ1.3. ¿Cómo se lleva a cabo el mantenimiento de los productos existente El objetivo es comprobar qué actividades se llevan a cabo para conservar y mejorar los productos existentes en el mercado.

RQ1.4. ¿Cómo se realiza la introducción de nuevos productos en el mercado Se trata de identificar los canales de distribución utilizados y el suministro de nuevos productos, así como el anuncio de nuevos productos a los clientes potenciales

RQ1.5. ¿Cómo se lleva a cabo el proceso de control de los productos? El propósito es determinar si se realiza el seguimiento y la formación del proceso de gestión de productos, observando el volumen de ventas de cada producto obtenido.

RQ1.6. ¿Existe una lista de productos que detalle las características de cada producto? En caso de ser afirmativo, ¿cuál es su finalidad? El objetivo de esta pregunta es verificar si están definidas las principales características comunes y variables de todas las aplicaciones de la línea de productos existente, y conocer el uso que se le da en el caso de existir dicha información. También, se quiere saber si existe un calendario para la entrega de aplicaciones a clientes específicos o para la salida al mercado. Si no existe, se espera que se revele cómo gestionan los productos de la misma línea

RQ2. ¿Cómo gestionan las CNKSPL la variabilidad en el nivel de la ingeniería de requisitos de dominio? Se plantean varias subpreguntas que ayuden a conocer como las empresas gestionan la variabilidad de sus productos a nivel de gestión de requisitos de dominio

RQ2.1. ¿Qué medios se utilizan con más frecuencia para obtener los requisitos del producto? El objetivo de esta pregunta es conocer los documentos, mecanismos o técnicas que utilizan las empresas para obtener los requisitos para el desarrollo de nuevos productos de software, ya sean comunes, únicos en su gama de productos o variables.

RQ2.2. Cuando se trata de documentar los requisitos para productos, ¿se hace a través del lenguaje natural o de un modelo? El propósito de esta pregunta es averiguar cómo las empresas realizan el levantamiento de requisitos de sus productos y si documentan su análisis. Además de conocer detalles de como realizan análisis de requisitos; es decir, se pretende revelar cómo gestionan este proceso para optimizar la funcionalidad y el desarrollo del nuevo producto.

RQ2.3. ¿Cuáles son los modelos de requisitos utilizados para evidenciar la obtención y análisis de los requisitos?

El propósito es saber cómo las empresas indican la obtención de requisitos, ya sea a través de modelos de funciones, análisis de datos o de comportamiento, matriz de comparación de productos, matriz de requisitos o análisis de similitudes basados en prioridades [172]

RQ2.4. ¿Cuáles son las fuentes secundarias utilizadas para obtener y crear los requisitos de los productos? ¿Para qué sirve el uso de fuentes secundarias? El objetivo es identificar todas las fuentes que utilizan para obtener los requisitos comunes y variables; si utilizan fuentes secundarias se desea conocer el uso que se le da a esas fuentes. Además, se desea conocer si crean artefacto de requisitos que ayuden a gestionar la variabilidad.

RQ3. ¿Cómo gestionan las CNKSPL la variabilidad a nivel de ingeniería de requisitos de aplicación? Se plantean las siguientes subpreguntas para descubrir como las empresas gestionan los requisitos de ingeniería de aplicación.

RQ3.1. ¿Existe una documentación clara que muestre los requisitos comunes y variables de cada aplicación? El objetivo conocer como documentan los requisitos de cada aplicación de su cartera de productos.

RQ3.2. Al desarrollar una nueva aplicación, ¿se reutilizan los requisitos de otro producto? El objetivo es identificar si tienen como norma la reutilización de artefactos de los requisitos del dominio.

RQ3.3. ¿Qué sucede cuando una aplicación necesita requisitos específicos para su creación? El objetivo es conocer que criterios utilizan las empresas para modificar los artefactos existentes o desarrollar un nuevo artefacto. También se desea conocer cómo incluyen las características particulares de la aplicación.

A modo de resumen, en las tablas §6.1, §6.2 §6.3 se presentan en la segunda columna las preguntas de investigación fundamentadas en conceptos del marco de ingeniería de líneas de productos de software. En la tercera columna se presenta las proposiciones que nos dan una visión general de la información

que se obtiene a través de la ejecución de los instrumentos de estudio.

6.3.4. Métodos de recogida de datos

El diseño contempla utilizar cuatro métodos de recogida de datos: análisis de documentos, observación, grupos de discusión y entrevistas.

Análisis de la documentación. El análisis de documentación es una técnica que se centra en la documentación generada por los ingenieros de software. Se plantea analizar todos los documentos que parezcan relevantes para la investigación y que se relacionen con las metodologías utilizadas en las empresas para el desarrollo de sus productos de software. Es decir, se propone analizar documentos que cumplan con rasgos distintivos de una hoja de ruta de productos, el cronograma de entrega de aplicaciones, documentos que muestran las características de productos, modelos de variabilidad ortogonal o en su defecto documentos que evidencien la relación existente de las características de sus productos.

Se espera que las empresas utilicen diferentes esquemas organizativos y, por lo tanto, diferentes nombres y técnicas para los documentos que contienen esa información.

Observación. Se propone que este método se aplique como en [185] utilizando técnicas de pensamiento en voz alta y observaciones directas, se prevé utilizar 120 horas para realizar las observaciones en la empresa teniendo en cuenta el tiempo disponible del equipo de investigación. No obstante, esta sugerencia puede modificarse en función de las necesidades o peticiones de la empresa, ya que hay que ser conscientes de lo difícil que es para las empresas realizar una colaboración no rentable con los grupos de investigación. Aun así, un tema a considerar es que el tiempo dedicado a cada estudio debe ser el mismo, para obtener la misma profundidad de conocimientos en los casos estudiados. Se observará a los desarrolladores de bases de datos, programadores de negocio, programadores de front-end, arquitectos y analistas de requisitos. El objetivo es observar el proceso implicado en la obtención del requisito de un nuevo producto, el soporte de los productos existentes, la introducción de nuevos productos en el mercado, el proceso de control del producto, la creación de artefactos de dominio y su reutilización.

Grupo de discusión. El diseño contempla reuniones como se recomienda por Kontio y otros [150]. Estas reuniones se celebrarán como máximo de 30 minutos, una vez a la semana. El objetivo de mantener los grupo de de discusión es que en estas reuniones se debata sobre el tema de cómo gestionan

IDs	Preg. de Inv.	Proposiciones
¿Cómo gestionan las CNKSPL la variabilidad a nivel de gestión de productos?		
RQ1.1	¿Qué tipo de medidas se toman para gestionar los diferentes productos?	<p>Si se toman medidas de gestión del producto, entonces, los posibles cambios en las características, las limitaciones legales y las normas para aplicaciones futuras se mostrarán con anticipación.</p> <p>Si se utilizan técnicas de definición de alcance de producto, entonces, se especificarán aquellos productos que forman parte de una línea y los que están fuera de la línea.</p> <p>Si se definen los métodos de alcance del producto, entonces, se aplica el alcance de la cartera de productos, el alcance del dominio o el alcance de los activos.</p>
RQ1.2	¿Cómo se alinean las estrategias con la definición del producto?	<p>Si existe una cartera de productos, entonces, se proporcionarán las especificaciones de características de cada producto.</p> <p>Si existe una cartera de productos, entonces, se valora positivamente su utilidad.</p>
RQ1.3	¿Cómo se lleva a cabo el mantenimiento de los productos existente	<p>Si existe una lista de productos o artefactos de desarrollo, entonces, se optimiza el mantenimiento.</p> <p>Si se identifican los artefactos existentes que ya se han desarrollado en proyectos anteriores, entonces, se ahorrará tiempo y dinero en la creación de artefactos.</p>
RQ1.4	¿Cómo se realiza la introducción de nuevos productos en el mercado	<p>Si se define un cronograma de entrega del producto, entonces, el marketing se gestiona de manera óptima.</p>
RQ1.5	¿Cómo se lleva a cabo el proceso de control de los productos?	<p>Si existe un control de seguimiento de los productos, entonces, se podrá determinar el volumen de ventas de cada producto obtenido</p>
RQ1.6	¿Existe una lista de productos que detalle las características de cada producto? En caso de ser afirmativo, ¿cuál es su finalidad?	<p>Si hay una hoja de ruta, entonces, tiene un valor importante para la empresa porque contiene las características del producto y un cronograma para la introducción en el mercado.</p> <p>Si se especifican las características de cada producto, entonces, se analizan los aspectos comunes y la variabilidad de los productos.</p> <p>Si se analizan los elementos comunes y la variabilidad de los productos, entonces, se ahorrará tiempo y recursos para la creación de nuevos productos.</p>

Tabla 6.1: Pregunta de investigación RQ1

IDs	Preg. de Inv.	Proposiciones
¿Cómo gestionan las CNKSPL la variabilidad en el nivel de la ingeniería de requisitos de dominio?		
RQ2.1	¿Qué medios se utilizan con más frecuencia para obtener los requisitos del producto?	Si existen métodos de comunicación para obtener requerimientos comunes o requerimientos variables para los diferentes productos de la familia, entonces , es más fácil recolectarlos para su posterior análisis.
RQ2.2	Cuando se trata de documentar los requisitos para productos, ¿se hace a través del lenguaje natural o de un modelo?	Si existen modelos conceptuales para la definición de requisitos, entonces , se valora positivamente su utilidad
RQ2.3	¿Cuáles son los modelos de requisitos utilizados para evidenciar la obtención y análisis de los requisitos?	Si utilizan una matriz de requisitos de las aplicaciones, entonces , el análisis de concordancia será más accesible.. Si se definen artefactos de requisitos de comonalidad y variabilidad, entonces , se realiza un análisis eficiente basado en prioridades. Si se utiliza un modelo de variabilidad ortogonal, entonces , se realiza un análisis eficiente de las variantes entre productos.
RQ2.4	¿Cuáles son las fuentes secundarias utilizadas para obtener y crear los requisitos de los productos? ¿Para qué sirve el uso de fuentes secundarias?	Si se obtienen requisitos de diferentes fuente, entonces , los artefactos de requisitos de dominio serán más efectivos. Si el análisis de los artefactos de requisitos del dominio trata de minimizar la variabilidad de los requisitos, entonces , el esfuerzo que se invierte en la flexibilidad del diseño será menor.

Tabla 6.2: Pregunta de investigación RQ2

IDs	Preg. de Inv.	Proposiciones
¿Cómo gestionan las CNKSPL la variabilidad a nivel de ingeniería de requisitos de aplicación?		
RQ3.1	¿Existe una documentación clara que muestre los requisitos comunes y variables de cada aplicación?	Si hay documentación de los requisitos de la aplicación, entonces , se puede obtener el modelo de variabilidad de la aplicación.
RQ3.2	Al desarrollar una nueva aplicación, ¿se reutilizan los requisitos de otro producto?	Si las especificaciones de los requisitos de la aplicación son comunes a las existentes, entonces , reutilice los artefactos de dominio existentes.
RQ3.3	¿Qué sucede cuando una aplicación necesita requisitos específicos para su creación?	Si los requisitos de la aplicación no se pueden cumplir mediante la reutilización de artefactos de los requisitos del dominio, entonces , se crean artefactos de requisitos para una aplicación específica. Si se necesitan artefactos con requisitos específicos para una aplicación, entonces , los artefactos variables se adaptarán para satisfacer las necesidades. Si se necesitan artefactos de requisitos específicos para una aplicación, entonces , se debe realizar el análisis delta para decidir si los requisitos delta se deben hacer para la aplicación o no.

Tabla 6.3: Pregunta de investigación RQ3

la variabilidad en sus productos, qué metodologías utilizan para derivar los requisitos de los productos y se abordarán cuestiones como los retos y las lecciones aprendidas y su relación con el desarrollo de las personalizaciones de sus productos. Se tiene planificado seleccionar al menos seis analistas principales para participar en el grupo de discusión, ya que se sabe que son los que interactúan activamente en la definición de los requisitos y la definición del alcance de los productos.

Entrevistas. El diseño contempla la realización de entrevistas cara a cara con los jefes de producto, los programadores de la empresa y los analistas de

requisito

6.3.5. Estrategia de selección de datos

Las condiciones básicas para abordar nuestro problema, objetivo y preguntas de investigación son: cualquier PYME que tenga un departamento de desarrollo de software en un dominio específico y comparta productos, y que la empresa este dispuesta a participar en el estudio. En las empresas objeto de estudio, los participantes se seleccionarán según el método de muestreo de conveniencia [210]. Esta selección tiene en cuenta los diferentes roles y perfiles implicados en la empresa, que serán relevantes para la investigación. Para la búsqueda, se propone seleccionar roles que involucren a gerentes de proyecto, gerentes de producto, programadores de negocios, programadores de front-end, arquitectos y analistas de requerimientos, así como todos los roles que existan en la empresa relacionados con las etapas a estudiar. Para la selección concreta, se prevé mantener reuniones previas con los responsables de la empresa, así como estudiar la documentación organizativa para saber qué roles concretos serían los más adecuados para vincularse al estudio.

6.3.6. Métodos de análisis de datos

El diseño de estudio prevé analizar los datos recogidos de forma cualitativa, basándose en Miles y Huberman [163]. Para el análisis de los datos, se recomienda utilizar alguna herramienta que facilite debido a sus características cualitativas el análisis de datos [76], por ejemplo la herramienta Nvivo o Atlas T.I.

Después de la recogida de datos, se deberán codificar los datos, lo que significa que a algunas partes del texto se les asignará un código que represente un área determinada, en función de los objetivos del estudio. Para cada código se adjuntará un memo, es decir, comentarios y reflexiones de los investigadores con algunos problemas o descripciones que permitan describir las unidades de análisis. A continuación, se emparejará el primer conjunto de hipótesis, identificando, por ejemplo, frases que son similares en diferentes partes del material y patrones en los datos.

Hay que tener en cuenta que el proceso se ejecuta de forma iterativa y se afecta mutuamente, no es una simple secuencia de pasos. Por lo tanto, en la actividad en la que se identifican las hipótesis si se requiere más información, se lleva a cabo una mayor recopilación de datos en el campo.

6.3.7. Amenazas a la validez

Preguntas de investigación. Las preguntas de investigación definidas en este estudio pueden no centrarse en los aspectos más importantes relacionados con los tres subprocesos estudiados. Para mitigar esta amenaza se realizó la aplicación del estudio de caso en una empresa, que validó los instrumentos permitiendo mejorarlos y aprobarlos para futuras réplicas del estudio.

Preguntas de la entrevista. El conjunto de preguntas de la entrevista propuesto puede no ser explícito e impedir la obtención de la información necesaria. Para mitigar esta amenaza, la entrevista se realizará en varias sesiones.

Observaciones. La observación se llevará a cabo observando a los empleados que realizan las actividades relacionadas con la administración de los productos y el análisis de los requisitos, la documentación y los artefactos. Sin embargo, es posible que la empresa no muestre toda la documentación requerida. Para mitigar esta amenaza, se firmarán acuerdos de confidencialidad con la empresa.

Selección de los participantes. Como la selección se fundamentará en un muestreo de conveniencia, se pretende seleccionar a los participantes más adecuados para proporcionar la información apropiada. Se cree que la amenaza contra los resultados obtenidos es reducida porque el diseño del estudio de caso contempla que la investigación se realice en más de una empresa. Sin embargo, un aspecto que se debe considerar al elegir a los participantes es que al aplicar el estudio en PYMES es posible que un participante tenga más de una función dentro de la empresa.

6.4. Validación del diseño: resultados preliminares

En esta sección se presenta la primera serie de resultados obtenidos de la intervención en la empresa A, cabe destacar que esta primera intervención ayudó a la verificación y validación de la efectividad del diseño propuesto en la contribución.

6.4.1. Contexto

Se realizó el estudio de caso en una empresa ecuatoriana dedicada al desarrollo de medios de pago financieros y comerciales desde 1999. La empresa cuenta actualmente con más de diecisiete clientes nacionales y extranjeros. En

el departamento de tecnología y desarrollo hay aproximadamente veintidós empleados; unos nueve jefes de proyecto, cuatro analistas, seis desarrolladores y tres certificadores de productos. Actualmente, tienen dos productos estrella: una solución de escritorio y otra en entorno web. Los productos cuentan con funcionalidades que permiten gestionar la operativa de una empresa financiera a través de cinco módulos (switch transaccional, tarjetas de crédito, tarjetas de débito, puntos de pago y proceso Batch).

6.4.2. Objetivo del estudio

El propósito de este estudio de caso es determinar cómo la empresa A maneja la variabilidad teniendo en cuenta que no conoce las líneas de productos de software, sin embargo, gestiona una cartera de productos similares que comparten requisitos comunes.

6.4.3. Tipo de estudio de caso y unidades de análisis

Como se diseñó, el estudio de caso se llevará a cabo en más de una empresa. Las unidades de análisis serán la gestión del producto, la ingeniería de requisitos de la aplicación y la ingeniería de requisitos de la aplicación obtenida del marco de ingeniería del SPL [172] mencionado en el Capítulo 2. El método aplicado en este estudio fue el estudio de caso múltiple, flexible y exploratorio.

Incrustado, ya que se analizaron dos áreas de la empresa A, estas unidades se relacionaron con el alcance del producto y la unidad de análisis de requisitos. Con la información recolectada en la empresa A se analizaron las unidades de análisis del presente estudio.

Exploratorio, ya que nos interesó conocer cómo las empresas gestionan la variabilidad de sus productos. Para ello, se utilizaron cuatro métodos para recopilar datos que permitieran saber si la empresa A realizaba tareas aplicando enfoques de SPL.

Flexible, porque se adaptó a las necesidades que presentó el estudio a la hora de recoger datos importantes para el análisis y en una entrevista se planificó otra sesión para recolectar más información, también se incluyó en el análisis, documentos que no estaban planificados.

6.4.4. Procedimientos de recogida de datos

En el estudio se utilizaron cuatro métodos de recogida de datos: entrevistas, grupos de usuarios, análisis de documentación y observación. Cabe mencionar que, para no afectar la obtención de datos y, debido a que las personas que colaboraron en este estudio no conocían el paradigma de SPL, todos los instrumentos utilizados fueron genéricos, subjetivos a la metodología que utiliza la empresa A. es decir, los temas de SPL no fueron mencionados en las preguntas. Sin embargo, los datos recogidos nos permitieron averiguar cómo gestionan la variabilidad en sus productos. El instrumento utilizado se encuentra en Zenodo ^{†2}

La principal fuente de información de este estudio fueron las **entrevistas semiestructuradas** que se realizaron a los profesionales seleccionados en la empresa. Cabe mencionar que algunos de ellos desempeñan más de una función en la empresa. Se realizaron entrevistas con el director, dos jefes de proyecto con tres analistas y un certificador. Cada entrevista se realizó en dos sesiones de una hora cada una. Todas las entrevistas se grabaron en archivos de audio que luego se transcribieron y codificaron para su análisis.

También se llevó a cabo un **grupo de discusión** siguiendo las recomendaciones de Kontio y otros [150]. Los grupos de discusión estaban formados por siete empleados que desempeñaban funciones de analistas, desarrolladores y certificadores. Se celebraron tres sesiones de 30 minutos cada una el jueves por la mañana. Un factor importante que hay que mencionar fue la disposición del grupo a ponerse de acuerdo sobre los criterios y a mostrar ejemplos de cómo gestionaban su cartera de productos y cómo obtenían los requisitos de sus clientes nuevos y antiguos. Se codificó todas las respuestas a las preguntas abiertas planteadas a los participantes.

En el departamento de desarrollo y tecnología, se realizó un **análisis de los documentos** relacionados con los procesos de gestión de productos y el análisis de requisitos. Entre estos documentos, se revisaron los siguientes:

- Solicitud de información (RFI) este documento es generado por el cliente, contiene: datos del cliente y describe el escenario actual del negocio, también detalla cómo llevan a cabo los procesos y finalmente describe el escenario futuro detallando lo que necesitan, es decir, especificando las características necesarias para que el producto cumpla con sus necesidades.
- Solicitud de propuesta (RFP) este documento lo genera la empresa y de-

^{†2}<https://doi.org/10.5281/zenodo.3261266>

talla las características que tendrá el producto.

- Acta de acuerdo entre los clientes y la empresa, en este documento se detalla la recopilación de información solicitada por el cliente, también en este documento, se encuentra la planificación de la entrega del producto a través de un diagrama de Gantt que detalla sistemáticamente los recursos y el tiempo asignado para la ejecución de cada actividad dentro del proyecto para la entrega del producto.

Otro método utilizado fue: **observación directa**. Este método se guía en el consejo de Seaman "utilizar observación directa es más útil cuando el investigador no participa activamente en el trabajo que se observa" [186]. Se realizaron observaciones directas, con notas de campo. Los roles observados fueron: gerente, analistas, certificadores. El tiempo asignado a la realización de las observaciones para extraer información sobre la primera unidad de análisis (ámbito del producto) fue de 40 horas y se asignaron otras 50 horas para la observación de la segunda unidad de análisis, es decir, el análisis de los requisitos. Gracias a este método, se recogió información valiosa, como las interacciones cara a cara entre los clientes y el personal de la empresa a la hora de obtener y negociar los requisitos de un producto. También se observaron los mensajes de correo electrónico para conocer los requisitos del producto que se recogen.

Se pudo observar que la empresa tiene dos productos básicos, el ProdN1 se puede definir como un solo producto, pero hay muchas formas de utilizarlo. El sistema es modular. Tiene cinco módulos principales y también otros submódulos. La implementación de estos módulos varía, algunos módulos son centrales y se implementan siempre, mientras que el uso de los otros módulos depende de los requisitos de cada cliente.

Los clientes de la empresa A varían en tamaño y funcionamiento, la herramienta ProdN1 está construida para ser personalizable. El funcionamiento empresarial de la empresa se basa en la gestión de un conjunto de configuraciones predefinidas para los requisitos más comunes del producto, pero si el cliente solicita una variante de los módulos disponibles, también existe una opción de soporte para la personalización de más variantes.

Sin embargo, en algunos casos, un cliente tiene necesidades que van más allá de las funcionalidades disponibles en la plataforma ProdN1 y ProdN2 que mantienen. En estos casos, la empresa A puede ofrecer una solución a medida como último recurso, desarrollando la nueva necesidad para el cliente aunque esté fuera de su alcance.

Hallazgos claves en la gestión de productos

- Los productos de la empresa A están relacionados, ya que se basan en un producto estrella o en una plataforma común.
- Los productos que desarrollan están siempre dentro del ámbito de la misión de la empresa. Es decir, sólo desarrollan productos relacionados con los sistemas de desarrollo financiero y comercial.
- El mantenimiento de los productos existentes se realiza cuando el cliente lo solicita, es decir, no anticipa modificaciones en su producto estrella.
- No prevén la creación de nuevos productos sin el requerimiento del cliente.
- Hay una lista de los productos con las características o funciones particulares de cada producto. Sin embargo, esta lista es puramente informativa. No existe una matriz donde se relacionen las características comunes o variables de cada producto. El objetivo de esta lista es conocer las variantes de los productos para ofrecer a los nuevos clientes productos con características similares con el fin de ahorrar costes y tiempo de desarrollo.

Hallazgos claves en la ingeniería del dominio de los requisitos

- Para obtener los requisitos de sus productos, lo hacen a través de formularios que detallan las funciones y características de cada producto mediante un lenguaje natural. No se hacen comparaciones con otros productos. Uno de los objetivos del producto estrella o plataforma base es minimizar los requisitos particulares de cada producto.
- No existe ningún documento que relacione o compare las características comunes y variables entre los productos.

Hallazgos claves en la ingeniería de aplicación de los requisitos

- Al desarrollar una nueva aplicación, se reutilizan los requisitos de otro producto.
- Cuando un nuevo cliente solicita el desarrollo de un producto, siempre se reutiliza gran parte del producto estrella, configurando o adaptando las partes existentes. Rara vez se desarrollaba un nuevo módulo, siempre se intentaba configurar para utilizar los ya existentes.

6.5. **Discusión**

Se presentó los primeros resultados preliminares de la aplicación y ejecución del estudio de caso. Sin embargo, hay que destacar que, este primer acercamiento a la industria permitió mejorar la planificación inicial del diseño del caso de estudio. Por ejemplo, se tuvo que repensar la cantidad de horas previstas para hacer observaciones en la empresa. A pesar de que se tenía la autorización y el compromiso de colaborar con la empresa, 120 horas de observación parecían excesivos para la empresa ya que se trataba de procesos de negocio, por lo que se tuvo que acortar el tiempo de observación a 40 horas para poder observar información sobre temas relacionados con el alcance del producto y 50 horas para observar cómo manejan el análisis de requisitos.

Otro replanteamiento del diseño original del estudio de caso estuvo relacionado con la ejecución de la primera entrevista con un analista, pues nos permitió darnos cuenta que el instrumento no era tan explícito y evitaba obtener toda la información necesaria relevante a cómo realizaban sus productos. proceso de mantenimiento. Para la próxima sesión se realizaron modificaciones a este instrumento para que se pudiera obtener la información pertinente.

6.6. **Resumen**

En este Capítulo, se presenta el diseño de un estudio de caso que permitió dar los primeros pasos hacia una evaluación empírica. El objetivo de este estudio fue conocer cómo las empresas que no conocen de SPL gestionan la variabilidad en sus productos. El protocolo del diseño del estudio de caso queda a disposición de la comunidad con el objetivo que se realicen réplicas que permitan generalizar los hallazgos que se puedan encontrar en su aplicación.

Capítulo 7

Gestión de la variabilidad en empresas: encuesta

Si buscas resultados distintos, no hagas siempre lo mismo.

Albert Einstein

Las líneas de productos de software proponen la reutilización sistemática dentro de una organización para reducir costes y esfuerzos, tiempo de desarrollo y número medio de defectos por producto. Sin embargo, muchas empresas no han adoptado este paradigma. No existen evidencias empíricas que reporten como realizan las empresas que no han adoptado el paradigma SPLE la personalización de sus productos. Para evaluar la necesidad del conocimiento de la SPLE en el desarrollo de software real, puede ser útil analizar las prácticas de variabilidad que realizan las empresas para desarrollar sus productos, señalando las fortalezas y debilidades de sus enfoques. Para ello, presentamos el diseño y resultado de la aplicación de una encuesta que permite conocer cómo las empresas realizan la gestión de la variabilidad. Partimos de la base de que la mayoría de las empresas gestionan la variabilidad, pero no muchas de ellas conocen las líneas de productos de software.^{†1}

En concreto, la Sección §7.1 presenta la introducción. La Sección §7.2 presenta el objetivo y preguntas de investigación abordadas en esta contribución. La Sección §7.3 explica el método de investigación que se siguió. La Sección §7.4 presentan los resultados y conclusiones de la ejecución de la encuesta. Por último, en la Sección §7.5 se presenta un resumen de esta contribución.

^{†1}Parte de este capítulo se publicará en las Actas de las XXVI Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos (JISBD 2022)

7.1. Introducción

Las líneas de productos de software (SPL) permiten la reutilización de componentes de forma sistemática dentro de una organización. La ingeniería de línea de productos de software (SPLE) [84, 172–174] ha ganado una atención significativa en los últimos años en el desarrollo de una cartera de productos software similares [99]. Son varios los estudios que han informado mejoras respecto al coste, calidad y tiempo de comercialización [184, 202]. Sin embargo, existen poca evidencia empírica reportada sobre la adopción de líneas de productos software en las empresas [81, 160]. Hay que recordar que de acuerdo a Kitchenham y otros [149] los estudios de evidencia empírica permiten crear conocimiento mediante las experiencias académicas o industriales, creemos que la falta de un estudio empírico en la temática planteada, evita generar conocimiento de como las empresas gestionan la variabilidad en la personalización de sus productos.

La gestión de variabilidad es una práctica a la que se tiene que enfrentar cualquier empresa con una cartera de productos software similares. En los últimos años, aparecen numerosos sistemas altamente configurables y con creciente demanda de personalización. Sin embargo, existe un número significativo de empresas que se enfrentan a este desafío y que no conocen las técnicas de SPLE. Por ello, se consideró, que es importante evaluar cómo las empresas realizan la gestión de la variabilidad para entender los problemas que encuentran. Asumimos que la mayoría de las empresas manejan la variabilidad, pero muchas de ellas no conocen las líneas de productos de software.

Esta contribución aborda un problema similar al presentado en el capítulo anterior, considerando la recomendación dada por Seaman [185] *“La combinación de datos cualitativos y cuantitativos suelen proporcionar una mejor comprensión del fenómeno estudiado”* y Kitchenham y otros [149] *“Las encuestas suelen ser complementarios a otras estrategias de investigación empírica como los experimentos controlados, o los estudios de caso, los que proveen una alta validez interna de los hallazgos.”*. Con base a estas recomendaciones, se decidió emplear una encuesta, para obtener más fuentes de información de los aspectos tratados previamente. La encuesta nos permitió contar con una muestra significativa de empresas que gestionen la variabilidad en sus productos software, para realizar un análisis y conocer como las empresas gestionan la variabilidad en sus productos buscando generalizar hallazgos con una cantidad de datos representativa.

Los resultados de esta contribución puede servir de punto de partida para identificar la brecha de desconocimiento sobre las prácticas de SPLE .

Como punto de partida para esta propuesta se tiene los resultados obtenidos por Chacón-Luna y otros [92], donde se presentó el diseño de estudio de caso para evaluar cómo las empresas realizan la gestión de la variabilidad cuando no conocen las líneas de productos de software y se aplicó a una empresa ecuatoriana. La hipótesis que se planteó en [92] fue también que la mayoría de las empresas manejan la variabilidad, pero muchas de ellas no conocen de líneas de productos de software.

Hay que destacar que para realizar generalizaciones de hallazgos obtenidos de un estudio de caso, es necesario realizar réplicas aplicando el mismo protocolo de estudio de caso. En Chacón-Luna y otros [92] sólo se presentó los resultados preliminares del estudio de un caso. Para reforzar los hallazgos encontrados y ampliar la muestra del estudio buscando recabar información de más empresas, se contempló realizarlo a través de una encuesta aplicada en una zona geográfica diferente que nos permitió cuantificar y generalizar criterios de como las empresas gestionan la variabilidad en los productos que desarrollan. En esta contribución se estudian las prácticas que realizan para la adaptación/personalización de sus productos. Es decir, se busca conocer como resuelven las empresas las adaptaciones de sus productos, y como reutilizan esfuerzos compartiendo características comunes, variables y específicas en la cartera de productos.

También se estudia como las prácticas de desarrollo permiten mantener la oferta de productos similares durante la fase de análisis de requisitos y en que medida se consideran estos esfuerzos a nivel de dominio concreto y para cada proyecto individual. Por tanto, la contribución del presente trabajo gira en torno a presentar las practicas de gestión de variabilidad a nivel de producto y de requisitos que las empresas gestionan basadas en su propia experiencia.

7.2. Objetivo y preguntas de investigación

El principal objetivo de este estudio fue determinar como gestionan la variabilidad las empresas a nivel de gestión de producto y de requisitos. Con el objetivo de realizar un buen procedimiento de análisis y considerando que algunas de las empresas encuestadas desconocen del paradigma SPL, este estudio excluyó la comparación con los procesos relacionados con el diseño, el desarrollo y las pruebas. La razón de esta decisión es que las actividades de esas etapas exigen un mayor conocimiento del paradigma del SPL, y el estudio sería demasiado amplio. Además para realizar un estudio que involucre más etapas, sería importante que las empresas tengan cierto grado de madurez de los procesos que se realicen dentro de la empresa con relación al paradigma

SPLE, lo que causaría que la población objetivo sea otra. Las empresas a las que se aplicó este estudio no necesariamente conocen de SPLE y por ello, en esta contribución se redujo previamente el alcance a la comparación y análisis del proceso de gestión del producto, ingeniería de requisitos de dominio e ingeniería de requisitos de aplicación del framework SPL de Pohl y otros [172].

En concreto, en este trabajo asumimos la hipótesis de que en todas las empresas que manejan una cartera de producto relacionado es necesario el uso de técnicas para gestionar la variabilidad y la reutilización de componentes comunes. Así pues, este estudio pretende responder a la pregunta:

RQ1. ¿Existe relación entre la oferta de productos similares o personalizables y el empleo de mecanismos de gestión de variabilidad?

Para dar respuesta a esta interrogante, se propuso el desarrollo de un instrumento de estudio en forma de encuesta. La encuesta tuvo carácter descriptivo para recolectar datos de un grupo de personas de manera sistemática, que permitió buscar patrones en los datos y presentar los hallazgos encontrados.

De manera específica esta pregunta de investigación busca conocer si los productos de la cartera de productos de la empresa están relacionados y en que medida se gestionan aplicando fundamentos o principios de SPL. Para dar respuesta a estas preguntas de investigación se realizaron subpreguntas, que se detalla en la Subsección §7.3.1.

7.3. Método de investigación

De acuerdo a Fink [118], las encuestas son un método de recopilación de datos y deben utilizarse en las condiciones apropiadas. Fink [118] afirma que una encuesta es un método de investigación integral y no es sólo un cuestionario o lista de verificación para recopilar información. El presente estudio consideró la realización de una encuesta descriptiva [149], que permitió recopilar información y evidenciar la distribución de las afirmaciones de los encuestados con relación a como gestionan la variabilidad de los productos que estos desarrollan. Además este método de investigación nos permitió describir, comparar y explicar los conocimientos, actitudes y comportamientos sobre la definición y aplicación de prácticas de gestión de la variabilidad en las empresas de desarrollo de software.

Para el diseño construcción administración y análisis de la encuesta se si-

guieron las guías de Kitchenham [136, 140–142, 146, 147, 149, 170]. Para la ejecución de la contribución se realizaron los siguientes pasos:

1. **Definición del estudio.** En esta etapa se define el objetivo de la investigación, se declaran los resultados esperados de la encuesta [170].
2. **Diseño de la encuesta.** Se decide sobre la mejor manera de obtener la información necesaria para abordar los objetivos de la investigación y se estableció el tamaño de la muestra adecuada [141, 146].
3. **Implementación de la encuesta.** Se elaboró, recolectó y preparó todo el material que se requiere para realizar la encuesta en concordancia con el planificación del estudio [147].
4. **Ejecución de la encuesta.** Se verificó la ejecución real con el plan y se realizó actividades de control de calidad que permitan auditorías posteriores a la ejecución del estudio [140].
5. **Análisis e interpretación de los datos.** Se efectuó la validación de datos, partición de las respuestas, codificación de datos y análisis [142].
6. **Informe de los resultados de la encuesta.**

7.3.1. Definición del estudio

Según Fink [118] diferentes diseños de encuestas sirven a diferentes objetivos basado en la clasificación pueden ser experimental y descriptivo. El diseño experimental se caracteriza por disponer la comparación de dos o más grupos, al menos uno de los cuales es experimental [210]. Los diseños descriptivos producen información sobre grupos y fenómenos que ya existen.

El estudio aplicó una encuesta descriptiva y el objetivo principal del estudio fue determinar cómo la variabilidad es gestionada por las empresas que ofertan una familia de productos software, independientemente de si conocen los conceptos de SPL. Partimos de la hipótesis de que, aunque no apliquen formalmente técnicas del paradigma SPL, aplican soluciones para la gestión de la variabilidad. Para responder a la pregunta de investigación nos planteamos subpreguntas de investigación. El objetivo de estas subpreguntas es conocer en qué medida las empresas desarrollan productos relacionados en su cartera de productos y el conocimiento y uso de técnicas para la gestión de la variabilidad. De esta manera podremos analizar si existe relación entre la cartera de productos y dichas técnicas. En base a estas subpreguntas se definió el cuestionario (adjunto en el Apéndice §C).

- **RQ1.1. ¿Gestionan una cartera de productos en la que aparecen productos similares o relacionados?** El objetivo es identificar si la cartera de productos incluye productos relacionados a través de la personalización o adaptación de productos existentes.
- **RQ1.2. ¿Se analizan las características de los productos de manera que se tiene identificado una familia o cartera de productos relacionados?** El objetivo de esta subpregunta es identificar si la empresa aborda de manera sistemática el desarrollo de productos relacionados mediante el análisis de características, derivación de una plataforma común y/o el mantenimiento.
- **RQ1.3. ¿Se analiza de manera sistemática los requisitos de cada proyecto de manera que se puedan comparar atributos comunes y variables para su potencial reutilización?** El objetivo de esta pregunta es identificar si se aborda de manera sistemática el análisis y comparación de requisitos comunes y variables de la cartera de productos para abordar la reutilización de requisitos.
- **RQ1.4. ¿Tienen conocimientos sobre términos del dominio de SPL?** El objetivo de esta pregunta es determinar el grado de conocimiento de vocabulario específico de SPL que permita analizar la relación entre este conocimiento y la gestión de una cartera de productos relacionados.

7.3.2. Diseño de la encuesta

Tras analizar los objetivos de la encuesta, se planificó como obtener la información para responder al objetivo planteado. Según Kitchenham y Pfleeger [145], de acuerdo a la forma en que se realiza, una encuesta se puede clasificar en: cuestionarios autoadministrados, encuestas telefónicas y entrevistas uno a uno.

Este estudio se llevó a cabo mediante cuestionarios descriptivos autoadministrados ya que los encuestados no estaban cubricados. Se aplicó en abril de 2021 a través de Google Forms.

Se elaboró el cuestionario en un periodo de tres meses. Para la obtención del tamaño de la muestra no se eligió de todo el universo de empresas de desarrollo españolas, sino que se realizó a través de los 10 nodos de la red TASOVA (Network on new trends in software Architecture and variability). Esta red que se encuentra extendida geográficamente por todo el país^{†2}. Los

^{†2}<http://tasova.uma.es/>

10 nodos a su vez reenviaron la encuesta a sus contactos a través de correo electrónico. Como resultado, se reportó un envío de alrededor de 180 encuestas, con una tasa de respuesta del 75 %. La decisión de los investigadores para realizar de esta forma el envío de la encuesta se fundamenta en un estudio piloto que se realizó en empresas ecuatorianas. En este piloto se obtuvo el listado de la población de 148 empresas de desarrollo afiliadas a CITEC (Camara de Innovación y Tecnología Ecuatoriana) ^{†3} a las cuales se les envió el cuestionario, teniendo como tasa de retorno de respuesta únicamente el 10 %. Por ello, se decidió cambiar la estrategia de envío y desistir de los resultados obtenidos en el primer intento de recolección de información, considerando que sería mas eficiente la recogida de datos a través de contactos con empresas cercanas a los nodos de la red TASOVA.

7.3.3. Implementación de la encuesta

La encuesta se aplicó mediante un cuestionario que se desarrolló siguiendo los pasos diseñados por [118, 145]: buscar en la literatura relevante; construir un instrumento; evaluar el instrumento; y documentar el instrumento.

El instrumento de la encuesta estuvo motivado por trabajos previos relacionados con la adopción de la línea de productos de software [75, 112, 113, 127, 172, 183, 199], investigaciones de encuestas [140–142, 146, 147, 170], y el estudio de caso mencionado previamente [92], donde se diseñó un estudio de caso que fue puesto a disposición de la comunidad y buscaba conocer como gestionan la variabilidad las CNKSPL. Como parte de la validación de dicho estudio se aplicó el protocolo diseñado en una empresa de desarrollo ecuatoriana.

Las principales mejoras con relación al estudio de caso de Chacón-Luna y otros [92], están relacionadas con la secuencia y organización de las preguntas. En la presente contribución se amplió el enfoque, debido a que las empresas encuestadas no se limitaron a empresas que específicamente no conozcan SPLE, y de forma general se elaboró un cuestionario con preguntas que buscaban conocer las practicas que realizan las empresas encuestadas para gestionar la variabilidad en sus productos. Como introducción del cuestionario se incluyó: la motivación del estudio, la importancia de la participación de cada individuo y como se implementaría la confidencialidad de las respuestas recogidas.

Kitchenham y otros [149] aseguran que en los cuestionarios autoadministrados las preguntas son principalmente cerradas. Así, el cuestionario de este

^{†3}<https://citec.com.ec/>

estudio estuvo compuesto por 33 preguntas, organizadas en 7 secciones. Las respuestas a 14 preguntas están diseñadas con escalas ordinales de frecuencia. El cuestionario fue diseñado para ser concluido en veinte minutos. Ver el Apéndice §C para el detalle de las preguntas del cuestionario y su relación con las preguntas de investigación.

Las 3 primeras secciones incluyen preguntas sobre el perfil de la empresa, el encuestado y los productos que desarrolla la empresa, respectivamente. En concreto, en la primera sección (preguntas 1 a 6) se pregunta sobre el ámbito, tipo y tamaño de la empresa. En la segunda sección (preguntas 7 a 13) se pregunta sobre la situación profesional del encuestado tales como la experiencia en el sector de producción de software y la relación con su cargo dentro de la empresa. En la sección 3 del cuestionario (preguntas 14 a 16) se plantearon 3 preguntas sobre el perfil de los productos que desarrollan, el tamaño de los proyectos y la cantidad de productos que actualmente tienen en el mercado.

Las subpreguntas de investigación de RQ1 se responden a través de las secciones 4, 5 y 6. En concreto, la cuarta sección (preguntas 17 a 21) corresponde con la pregunta de investigación RQ1.1 y se incluyen preguntas para conocer como las empresas manejan la personalización, adaptación o extensión de un producto ya desarrollado, y cómo abordan la creación de nuevos productos en miras de ahorrar tiempo y costos. En la quinta sección (preguntas 22 a 25), relacionada con RQ1.2, se incluyen preguntas para obtener información de como las empresas gestionan su cartera productos para obtener ventajas competitivas. La sexta sección (pregunta 26 a 29) corresponde con la pregunta de investigación RQ1.3 e incluye preguntas para conocer las prácticas que realizan las empresas para la obtención y gestión de requisitos de sus productos. Por último, en la séptima sección (preguntas 30 a 33), relacionada con la pregunta RQ1.4, se averigua sobre el nivel de conocimiento del encuestado sobre tema de variabilidad y SPL. Cabe destacar que en el diseño de la encuesta se consideró la colaboración de profesionales directamente relacionados con el área de tecnología y/o desarrollo de las empresas encuestadas.

El nivel de confianza fijado para la investigación es del 95 % (nivel de significación del 5 %) para el análisis de correlaciones.

Validación del instrumento de estudio. Se elaboró el cuestionario en un periodo de tres meses, incluyendo 3 ciclos de revisión de los mismos, durante estas sesiones se discutieron y acordaron la formulación de las preguntas. Se realizó la validación del instrumento formando un grupo de discusión donde participaron 3 de los investigadores con el objetivo de comprobar que las preguntas que se propusieron en el instrumento satisfacen las preguntas de investigación del presente estudio. Es decir se evaluó la fiabilidad de la aplicación del instrumento. Además, se comprobó que el método de análisis de

datos era compatible con las respuestas que se obtendrían de la aplicación del cuestionario. También se validó la comprensión de dichas preguntas por participantes ajenos al grupo de discusión realizando una prueba piloto de la aplicación del cuestionario.

7.3.4. Ejecución de la encuesta

La recopilación de datos es una parte importante para alcanzar los objetivos de la encuesta. Por ello, para garantizar que se recopilaban datos del grupo de interés relevante, primero se trató de motivar a los encuestados para que contesten el formulario. Para ello se dio a conocer el propósito del estudio, la importancia de su participación y como se preservaría la confidencialidad de las opiniones recogidas. Además se tomaron datos para mantener informado a los participantes que solicitaron este particular.

Se encuestó a una muestra de 135 personas, 8 encuestas fueron descartadas por falta de completitud en las respuestas, llegando a una población de (n=127) encuestados que se obtuvieron mediante muestreo no probabilístico del tipo 'bola de nieve'. Las empresas objeto de estudio tienen actividades registradas en el sector de desarrollo de software.

En este estudio, considerando el contexto COVID y la ubicuidad de los investigadores y participantes de la encuesta, se realizó la encuesta mediante la aplicación del cuestionario, que se envió en abril de 2021 a través de correo electrónico.

7.3.5. Análisis e interpretación de los datos

Se validaron los datos recogidos y se verificó que los datos que se recogieron de la aplicación del cuestionario estaban completos y consistentes. En esta etapa se rechazaron 8 respuestas debido a que no cumplían con la política de gestión de cuestionario. Es decir, existían datos incompletos en dichas respuestas.

Para llevar a cabo el análisis de los datos se codificó las respuestas obtenidas en SPSS, para posteriormente realizar análisis de frecuencia, de respuestas múltiples y de tablas cruzadas de las 33 preguntas que buscan satisfacer las preguntas de investigación planteadas en el presente estudio.

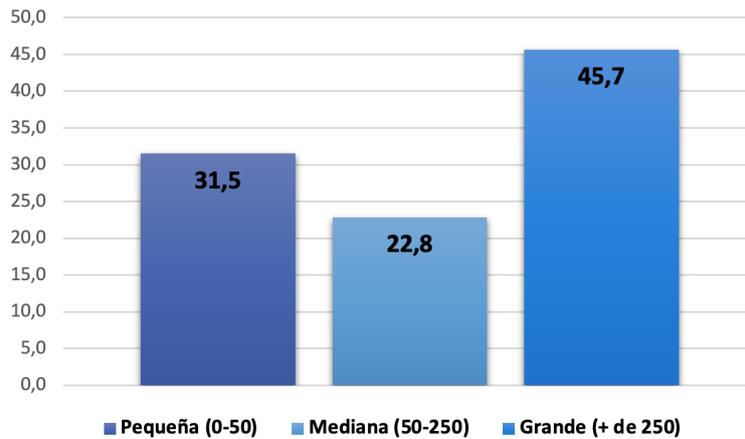


Figura 7.1: Tamaño de empresas encuestadas

7.3.6. Informe de resultados de la encuesta

La encuesta fue aplicada a 127 empresas de España, 122 de ellas privadas y 5 públicas. 47 empresas son de ámbito nacional y 80 internacional. En cuanto a su tamaño, considerando el número de trabajadores 45,7 % de las empresas encuestadas son empresas pequeñas (entre 0 y 50 trabajadores), mientras que el 31,5 % son de tamaño grande (+ de 250 trabajadores) y el 22,8 % son de tamaño mediano (entre 50 y 250 trabajadores). El detalle de esta pregunta se muestra en la Figura 7.1. También es importante mencionar que el 75 % de las

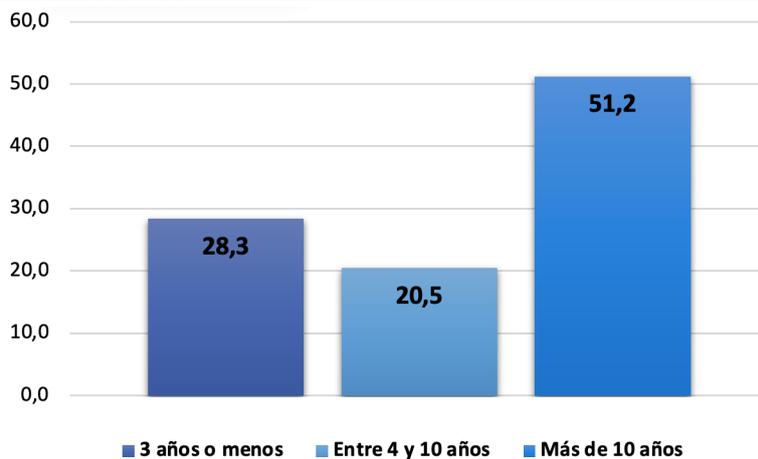


Figura 7.2: Años de experiencia laboral en la producción de software

empresas encuestadas llevan en el mercado más de 10 años, mientras el 16 %

está entre los 4 y 10 años en el mercado, y el 9 % 3 años o menos.

Respecto a la experiencia en el sector de producción de software, en el 28,3 % de las empresas encuestadas es de 3 años o menos, el 20,5 % tienen entre 4 y 10 años inclusive, y el 51,2 % más de 10 años de experiencia. Este dato se puede ver en la Figura 7.2.



Figura 7.3: Tipos de productos que desarrollan

Al preguntar sobre el tipo de productos que desarrollan, 108 de los encuestados indicaron que entre los productos de su portafolio se encuentran las aplicaciones web, seguido de las aplicaciones móviles 76. También 72 de los encuestados dijeron que la empresa desarrolla sistemas de información, 58 análisis de datos, 51 sistemas de control, 50 ERP, 40 aplicaciones de seguridad, 38 de internet de las cosas, 31 sistemas críticos y 19 de los encuestados dijeron desarrollar otros temas tecnológicos, como se muestra en la Figura 7.3.

En cuanto al tamaño de los proyectos que desarrolla la empresa, 70 de los encuestados indicaron que son proyectos pequeños (menos de 100.000 euros), mientras que 60 dijeron que los proyectos que desarrollan son medianos (entre 100.000 y 500.000 euros). Por último, 63 de los encuestados dijeron que la empresa desarrolla proyectos grandes (más de 500.000 euros).

Al preguntar a los encuestados sobre la cantidad de productos diferentes que tiene actualmente la empresa en el mercado y/o en desarrollo, el 28 % indicó que la empresa tiene entre 1 y 5 productos. El 16 % contestó que tiene entre 5 y 10 productos. El 6 % manifestó que tiene entre 10 y 20 productos y el 29 % indicó tener más de 20 productos en el mercado. Por último, un 21 % de los encuestados dijo no saber la cantidad de productos que la empresa maneja.

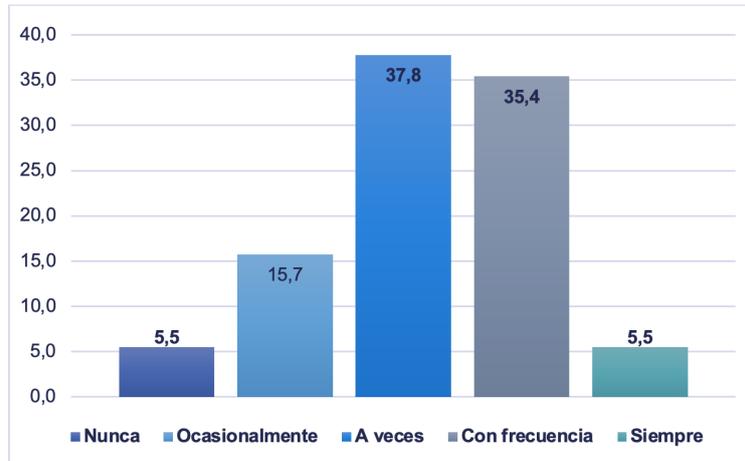


Figura 7.4: Relación entre ejecución de proyecto y productos similares

En concordancia con el objetivo planteado dentro de esta contribución, se plantea la siguiente pregunta de investigación.

RQ1. ¿Existe relación entre la oferta de productos similares o personalizables y el empleo de mecanismos de gestión de variabilidad?

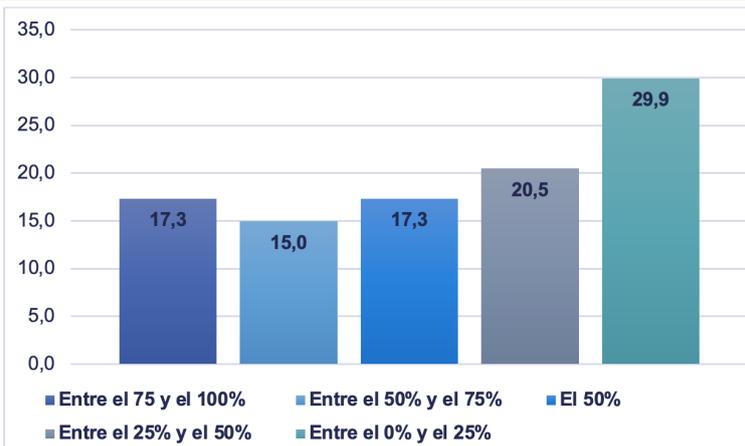


Figura 7.5: Porcentaje de proyectos desarrollados desde 0

Sabemos que la gestión de productos se preocupa de la gestión de la cartera de productos de la empresa, así como de la estrategia de mercado. Con base en este precepto y para extraer información que nos permita sintetizar y contestar la pregunta RQ1, se plantearon las siguientes subpreguntas de in-

vestigación.

RQ1.1 ¿Gestionan una cartera de productos en la que aparecen productos similares o relacionados? Dentro del cuestionario se formularon 4 preguntas que buscaban satisfacer esta interrogante.

En la Figura §7.4 se observa que con frecuencia 35.4 % y siempre 5.5 %, tras la ejecución de un proyecto se origina algún otro producto similar.

Estos resultados se refuerzan con que sólo el 17,3 % de los encuestados indicaron que entre el 75 % y el 100 % de los proyectos que desarrollan lo hacen desde cero, como se observa en la Figura §7.5. Además, la Figura §7.6 evidencia que al preguntar a los encuestados, si los clientes piden adaptar un producto similar a partir de uno ya desarrollado, respondieron que con frecuencia 55.1 % y siempre 13,4 % de las veces los clientes lo solicitan. Esto tiene relación con los resultados presentados en la Figura §7.7, donde se puede observar que al menos el 59,1 % de los encuestados indicaron que (con frecuencia el 31.5 % y siempre el 27.6 %) la metodología actual les permite abordar nuevos productos mediante la personalización o adaptación de productos ya existentes.

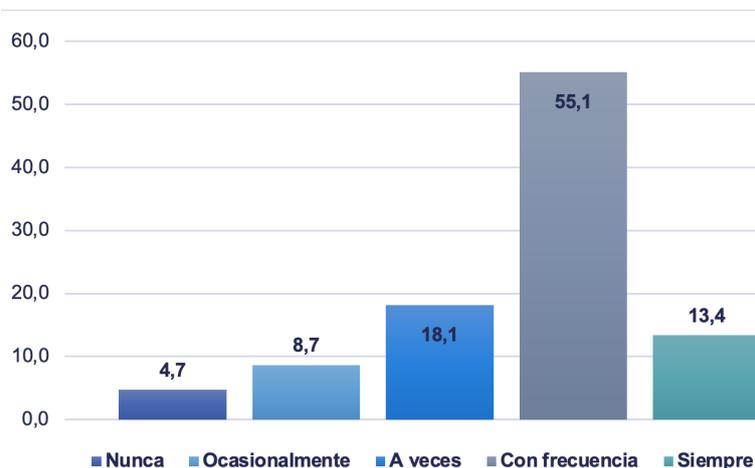


Figura 7.6: Percepción del cliente de variabilidad externa

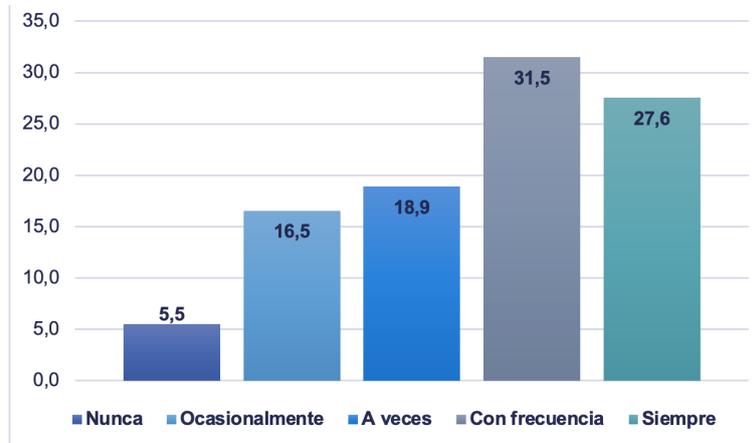


Figura 7.7: Relación entre productos existentes y personalización/adaptación de nuevos productos

Hallazgos de RQ1.1

- De los resultados presentados, podemos inferir que las empresas están adoptando algunas prácticas que les permite reutilizar al momento de desarrollar productos software, pues su desarrollo no empieza desde 0. Además, la metodología que utilizan les permite el 59,1 % esto es, (con frecuencia 31,5 % y siempre 27,6 %) de las ocasiones abordar nuevos productos mediante la personalización o adaptación de productos existentes como se muestra en la Figura §7.7.
- También podemos inferir que; los productos de las empresas se encuentran relacionados pues desarrollan productos de similares características, pues al menos el 68,5 % esto es, (con frecuencia 31,5 % y siempre 27,6 %) de las veces, cuando un cliente nuevo solicita el desarrollo de un producto, lo adaptan a partir de un proyecto ya desarrollado/ofertado, como se observa en la Figura §7.6.

RQ1.2. ¿Se analizan las características de los productos de manera que se tiene identificado una familia o cartera de productos relacionados? Se describen cuatro preguntas en el cuestionario que buscan satisfacer RQ1.2.

La Figura §7.8 muestra que con frecuencia mas de 62,2 % de los encuestados aseguraron elaborar documentación donde se detallan las especificaciones de las características de cada uno de sus productos, esto es, (con frecuencia 29,1 % y siempre el 33,1 %). Otro dato importante que se analizó es que más

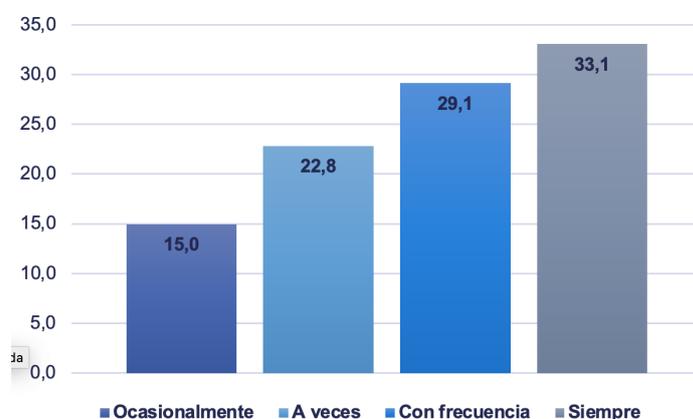


Figura 7.8: Documentación de las especificaciones/ características de productos

del 66,2%, esto es, (con frecuencia 40,2% y siempre 26,0%) de las empresas aseguraron que tienen identificado un producto estrella a partir del cual se originan otros productos. Sólo el 3,9% indicó no tener una plataforma o producto estrella identificado entre sus productos. En la Figura §7.9 se muestran estos datos.

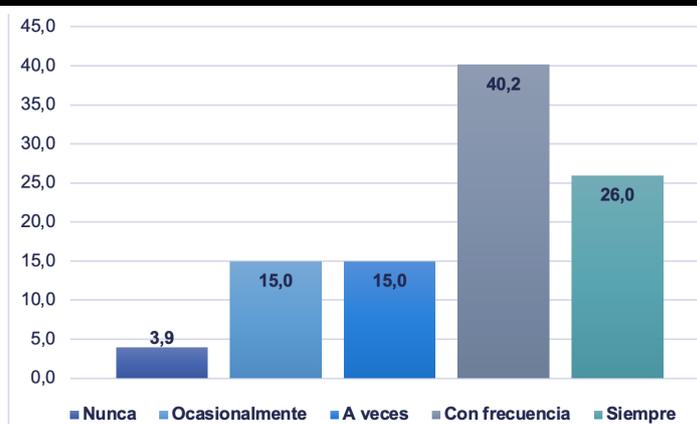


Figura 7.9: Identificación de artefactos reutilizables (plataforma estrella)

La Figura §7.10 evidencia que más del 85,6%, esto es, (con frecuencia 44,1% y siempre el 31,5%) se preocupa por realizar mejoras a los productos ya desplegados en el mercado al momento de realizar tareas de evolución o mantenimiento, mientras el 0,8% nunca y el 4,7% ocasionalmente lo realiza. Al preguntar sobre los formatos que utilizan para documentar los requisitos

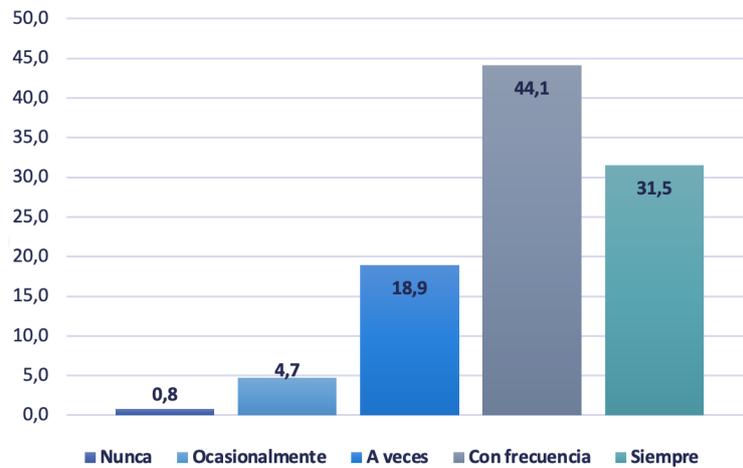


Figura 7.10: Visión en tareas de evolución o mantenimiento

y características de sus productos 66 encuestados indicaron que utilizan un documento de texto, 42 dijeron que utilizan una hoja de cálculo. También 42 participantes manifestaron que usan un formato web, mientras que 34 usan un software específico y otros 25 encuestados dijeron usar otro formato como Github, UML, Confluens o Jira. Es necesario indicar que las alternativas de esta preguntas se solapan entre sí debido a que los encuestados podían elegir o describir más de una opción. Por ello, la suma de las respuestas obtenidas no es 127 (número de encuestados).

Hallazgos de RQ1.2

- De los resultados obtenidos, podemos inferir que más del 60% de las empresas son conscientes que sus productos están relacionados, por cuanto se preocupan de analizar las características comunes entre sus productos e incluso tienen identificado un producto estrella o plataforma base a partir de la cual se originan productos para más clientes.
- Se evidencia también que la mayoría de los encuestados para almacenar la información sobre los productos y sus características lo hacen mediante documentos de texto y hojas de cálculo.

Partiendo de principios de SPL donde la ingeniería de requisitos de dominio y de aplicación tiene que adaptarse a las características especificadas en la hoja de ruta que proporciona la gestión del producto. Es decir, por una parte la ingeniería de requisitos de dominio proporciona artefactos de requi-

sitos reutilizables, mientras que la ingeniería de aplicación crea los artefactos de requisitos para aplicaciones específicas, que se envían en la hoja de ruta del producto. Para ello, se plantea la siguiente subpregunta.

RQ1.3. ¿Se analiza de manera sistemática los requisitos de cada proyecto de manera que se puedan comparar atributos comunes y variables para su potencial reutilización? Se plantearon dentro del cuestionario cuatro preguntas para satisfacer el RQ1.3.

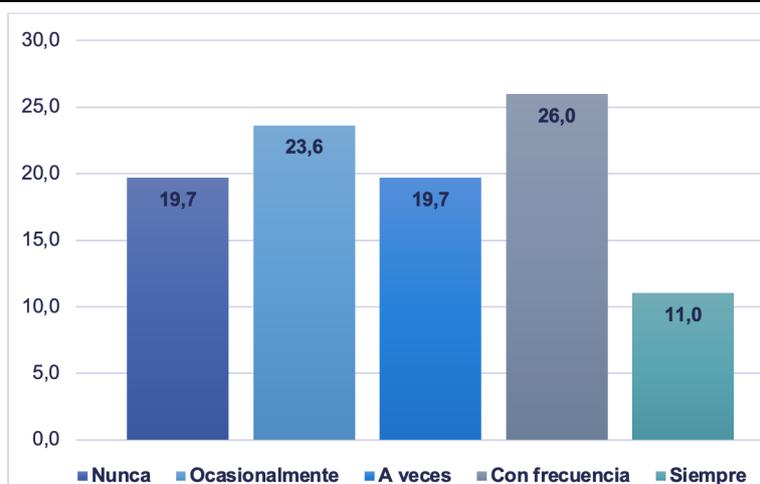


Figura 7.11: Documentación de análisis de requisitos comunes y variables de los productos (matriz)

En la Figura 7.11 se observa que mientras el 37 %, esto es, (con frecuencia 26,0 % y siempre 11,0 %) de los encuestados indicaron que se elabora una matriz o similar donde se detallan los requisitos comunes y variables de cada uno de los productos, el 43,3 % indicaron que no lo hacen, esto es, (nunca 19,7 % y ocasionalmente 23,6 %).

Estas cifras tienen relación con la Figura 7.13, donde se muestra que mientras el 44 %, esto es, (con frecuencia 28,3 % y siempre 15,7 %) de los encuestados han indicado que elaboran algún diagrama que les permite describir la interrelación entre las características de cada producto del portafolio de productos de la empresa, el 30,7 %, esto es, (nunca 12,6 % y ocasionalmente 18,1 %) no realiza diagramas que permitan describir la interrelación entre las características de cada producto del portafolio de productos.

En la Figura 7.12 se observa que alrededor del 68,5 % esto es, (con frecuencia 35,4 % y siempre 33,1 %) indicaron que al realizar un nuevo producto efectúan un análisis para determinar que componentes son reutilizables por

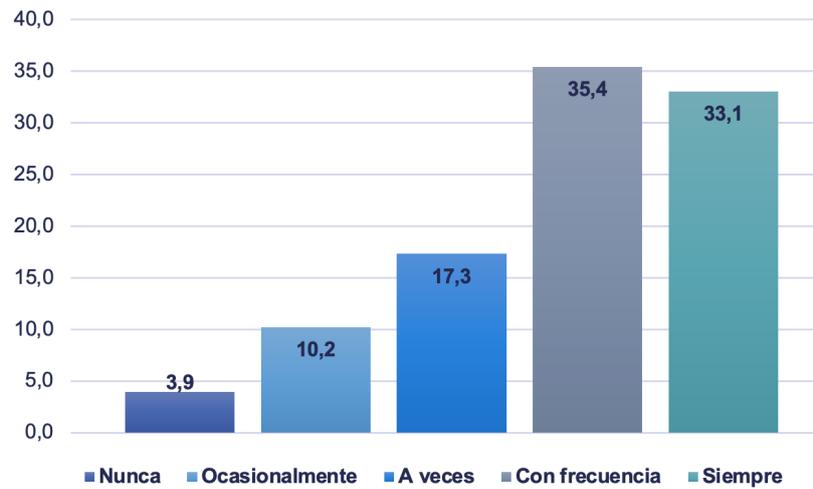


Figura 7.12: Análisis de componentes reutilizables

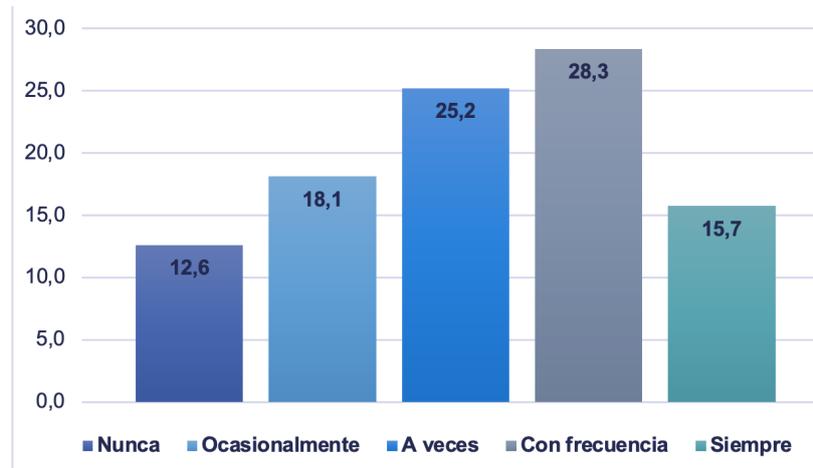


Figura 7.13: Descripción de interrelaciones entre características específicas de productos

ser comunes respecto a otros productos existentes. Sólo el 3,9% indicó que nunca realiza dicho análisis.

En la Figura §7.14 se observa que alrededor del 38,6% esto es, (con frecuencia 19,7% y siempre 18,9%) documenta las características comunes de un producto nuevo.

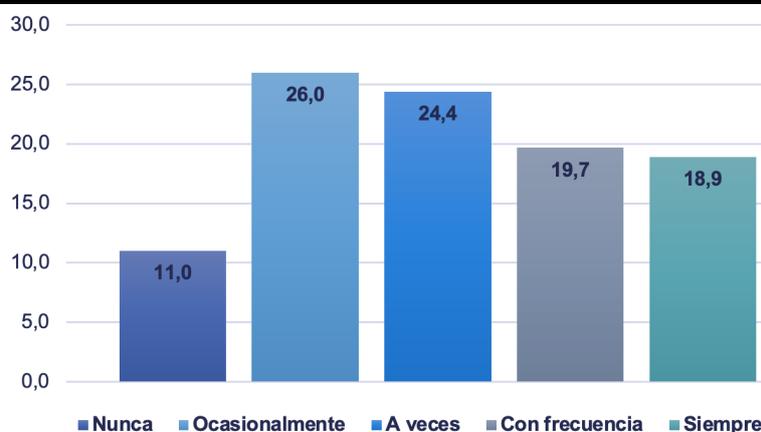


Figura 7.14: Documentación de los componentes comunes

Hallazgos de RQ1.3

- De acuerdo a los resultados obtenidos podemos inferir que son pocas las empresas que documentan el análisis que realizan con relación a las características de sus productos. Alrededor del 63%, esto es, (nunca 19,7% ,ocasionalmente 23,6% ,a veces 19,7%) de las empresas no documentan los requisitos comunes y variables de los productos similares de la empresa, en la Figura §7.11 se muestra dichas cifras. En este mismo sentido tampoco documentan las interrelaciones de las características de sus productos alcanzando el 55,9%, esto es, (nunca 12,6%, ocasionalmente 18,1% ,a veces 25,2%), como se muestra en la Figura §7.13.
- Otra inferencia es que las empresas efectivamente buscan reutilizar y realizan análisis para efectuar la reutilización de componentes comunes, esto se evidencia en la Figura §7.12, lo que aduce que únicamente desarrollan los nuevos requerimientos de sus clientes lo que en SPL se conoce como deltas de aplicaciones en SPLE.

Con el objetivo de indagar sobre el conocimiento de los encuestados en relación a conceptualizaciones, se planteó la siguiente subpregunta.

RQ1.4. ¿Tienen conocimientos sobre términos del dominio de SPL? Se plantearon dentro del cuestionario cuatro preguntas que buscan satisfacer el RQ1.4.

Se realizaron preguntas para conocer el nivel de conocimiento que los encuestados tenían sobre diferentes conceptos. La escala que se utilizó para re-

colectar la información fue la siguiente:

- Muy alto: Se considera experto/a en la materia.
- Alto: Se considera que conoce bien la materia aunque no a nivel de experto.
- Medio: Conoce la materia aunque no con mucha profundidad.
- Bajo: Ha oído hablar o ha leído algo sobre la materia pero no conoce los detalles.
- Muy bajo: No sabe lo que es.

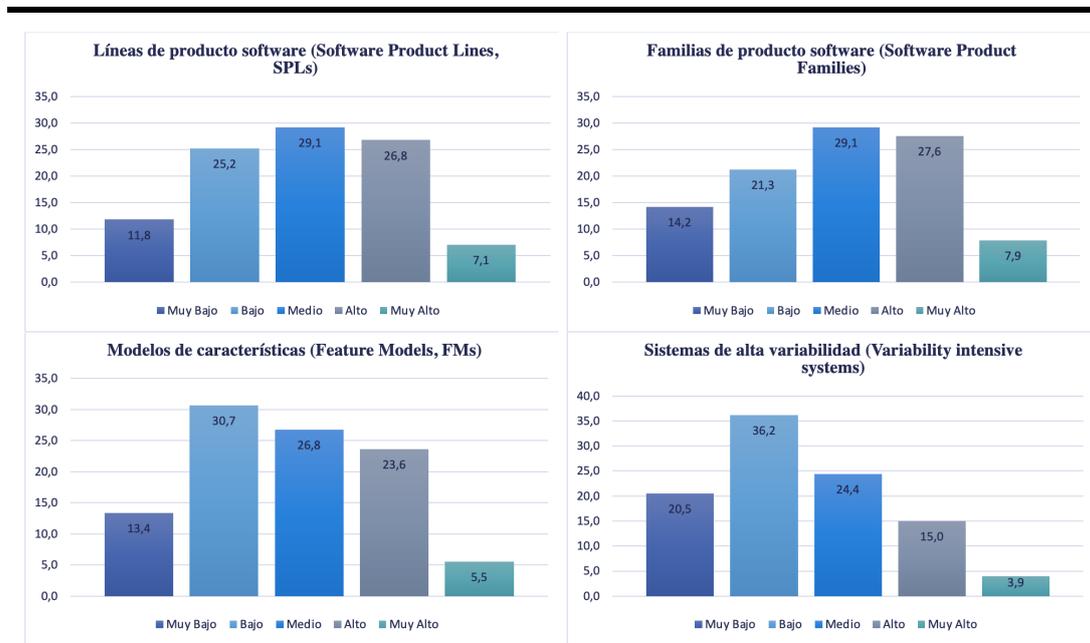


Figura 7.15: Nivel de conocimiento de conceptos

En la Figura 7.15 se evidencia los resultados del conocimiento de los encuestados respecto a los conceptos de: línea de productos de software, familia de productos software, modelo de características y sistemas de alta variabilidad. De manera general la tendencia es que menos del 30 % tienen alto conocimiento de dichos temas.

Solo el 33,9% esto es, (alto 26,8% y muy alto 7,1%) de los encuestados conocen de los conceptos de línea de productos software. Estas cifras son parecidas a la pregunta sobre las familias de productos software donde el 35,5% indicaron que sí conocen el término esto es, (alto 27,6% y muy alto 7,9%).

En menor porcentaje se respondió conocer sobre conceptos de modelo de características 29.1 % esto es, (alto 23,6 % y muy alto 5,5 %). Al preguntar sobre sistemas de alta variabilidad solo el 18.9 % indicaron conocer el término esto es, (alto 15,0 % y muy alto 3,9 %).

Hallazgos de RQ1.4

- De acuerdo a las cifras presentadas podemos inferir que las empresas conocen muy poco de estos conceptos. Se destaca que el termino menos conocido con una valoración de tener conocimiento muy alto fue *sistema de alta variabilidad*, donde los encuestados indicaron 3,9%.
- Los términos de línea de productos de software y familia de productos software son ligeramente mas conocido por los encuestados, donde indicaron el 7,1 % y 7,9 % tener conocimiento muy alto respectivamente.
- De manera general la tendencia es que menos del 30 % tienen alto y muy alto conocimiento de dichos temas.

7.4. Discusión

¿Gestionan una cartera de productos en la que aparecen productos similares o relacionados? De acuerdo a los datos recogidos de la encuesta se observó que los productos del portafolio de productos de las empresas encuestadas están relacionados y la metodología actual de desarrollo permite abordar nuevos productos a través de la personalización o adaptación de productos existentes ahorrando coste y tiempo. Esta conclusión se fundamenta en que alrededor del 59,1 % (con frecuencia 31,5 % y siempre 27,6 %) (ver Figura §7.7) de las empresas tendrían los objetivos alineados, determinando el alcance de sus productos, actividad que podría ser considerada como un preámbulo para definir lo que está y lo que no está dentro del ámbito de la línea de productos. Además, de acuerdo a la Figura §7.6 podemos determinar que existe variabilidad externa, pues los clientes alrededor del 68,5 % (con frecuencia 55 % y siempre 13,4 %) solicitan la adaptación de productos similares. Es decir, en términos de líneas de productos, se está manejando el principio de variabilidad externa debido a que la variabilidad de los artefactos del dominio es visible para los clientes.

También de acuerdo a los datos proporcionados por los encuestados, como

se muestra en la Figura §7.8, alrededor del 62,2 % (con frecuencia 29,1 % y siempre 33,1 %) manejan una lista de productos existentes donde se detallan las especificaciones de las características de cada uno de sus productos y/o artefactos, lo que nos lleva a inferir que las empresas realizan prácticas de gestión de la variabilidad debido a que se introduce la variabilidad durante el subproceso de gestión del producto cuando se identifican las características comunes y variables de las aplicaciones de la cartera de productos software que ellos desarrollan, podemos decir que existe la intención de gestión de lo que en el paradigma SPL llamamos Hoja de ruta.

¿Se analizan las características de los productos de manera que se tiene identificado una familia o cartera de productos relacionados?

Las opciones posibles con respecto a los requisitos se documentan explícitamente en el modelo de variabilidad, que es una abstracción de la variabilidad de los requisitos del dominio.

¿Se analiza de manera sistemática los requisitos de cada proyecto de manera que se puedan comparar atributos comunes y variables para su potencial reutilización?

Conocemos que una de los principales objetivos de la ingeniería de requisitos de aplicación es la detección de deltas entre los requisitos de la aplicación y los requisitos disponibles de la plataforma.

Sabemos que para documentar la variabilidad de los requisitos hay que tener en cuenta los requisitos textuales, las características, los escenarios y los modelos de requisitos tradicionales. De acuerdo a los resultados obtenidos de la encuesta podemos concluir que menos del 50 % de las empresas analizan los requisitos para identificar aquellos que son comunes a todas las aplicaciones y aquellos que son específicos para aplicaciones particulares.

Lo que imposibilita que se puedan anticipar a posibles cambios en los requisitos, como leyes, estándares, cambios tecnológicos y necesidades del mercado para aplicaciones futuras. Esta conclusión se fundamenta en que sólo el 37 % (Con frecuencia 26,0 % y Siempre 11,0 %) elaboran un matriz o documento similar donde se detallan los requisitos comunes y variables de los productos similares de la empresa, y el 44,0 % (con frecuencia 28,3 % y siempre 15,7 %) elaboran algún diagrama que les permite describir la interrelación entre las características de cada producto del portafolio de productos de la empresa. Otra pregunta que reafirma la inferencia realizada es que en porcentajes parecidos los encuestados indicaron ; el 38,6 % (con frecuencia 19,7 % y siempre 18,9 %) aseguró que la documentación donde recogen los requisitos de un nuevo producto también incluye el análisis de las características de otros

productos similares. Por otro lado, el 37 % indicó no realizarlo.

Sin embargo se obtuvieron porcentajes mas altos cuando se preguntó si al realizar un producto nuevo, hacen un análisis para determinar que módulos/componentes son comunes con respecto a otros productos existentes y por tanto reutilizables. La respuesta de los encuestados fue que un 68,5 % (con frecuencia 35,4 % y siempre 33,1 %) sí realizan el análisis para reutilizar componentes comunes, y sólo el 3,9 % indicó que nunca realiza dicho análisis. Se cree que lo realizan con el objetivo de detectar y evaluar el esfuerzo de adaptación de los requisitos existente o, en su defecto, para la creación de un requisito específico del nuevo producto.

Lo que nos lleva a inferir que las empresas efectivamente buscan reutilizar y realizan análisis para efectuar la reutilización de componentes comunes, y únicamente desarrollan los nuevos requerimientos de sus clientes lo que en SPL se conoce como deltas de aplicaciones. Sin embargo, se evidencia que en la práctica son pocas las empresas (menos del 50 %) que documentan el análisis que realizan para evidenciar las características de sus productos o las interrelaciones existentes entre sus productos.

7.4.1. **Análisis estadístico**

En este apartado se presenta un enfoque correlacional que busca evidenciar la relación o grado de asociación que existe entre las variables objeto de estudio, que se detallan a continuación

En la Figura §7.16 se muestra el análisis. En primer lugar, considerar que:

- (I) La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).
- (II) La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Los niveles de confianza α de 0,05 y 0,01 fueron escogidos dependiendo la explicación de la naturaleza de los datos que se necesita de los datos de la investigación. A menor α el intervalo es más largo y por tanto explica una menor información de la data, mientras que a mayor α el intervalo es más corto y por tanto explica una mayor información de la data. Adicionalmente, es importante indicar que debido a la interrelación que se realizaron entre la variables es de gran importancia el uso de los dos niveles de confianza escogidos.

- **METODOLOGÍA VS. CONOCIMIENTO.** Solo existe correlación directa estadísticamente significativa entre el ítem del éxito de 'la metodología actual permite abordar nuevos productos personalizando los

- ya existentes' con el ítem de 'Sistemas de alta variabilidad' ($p=0,023$, $r=0,202$), lo cual se considera una relación no excesivamente importante, aunque sí significativa al 5 %.
- **NECESIDAD VS ÉXITO DE LA METODOLOGÍA.** Se aprecia algo de correlación directa, estadísticamente significativa, entre el ítem del éxito de 'la metodología actual permite abordar nuevos productos personalizando los ya existentes' y 'el % de proyectos que desarrolla la empresa desde cero' ($p=0,039$, $r=0,184$), aunque el grado de esta relación no es excesivamente importante.
 - **ÍTEMS NECESIDAD VS. CONOCIMIENTO SEGMENTADO POR ÉXITO DE LA METODOLOGÍA 'NUNCA'.** De los que consideran que nunca tiene éxito la metodología para abordar las necesidades, se aprecian relaciones inversas estadísticamente significativas en cruces como el de que cuanto más se tiende a empezar un proyecto desde 0, menos se tiende a conocer la terminología de la variabilidad 'Línea de productos de software' ($p=0,023$, $r=-0,82$), lo mismo que para 'Familias de producto software' ($p=0,028$, $r=-0,80$), grado de correlación inversa alto en ambos cruces.
 - **ÍTEMS NECESIDAD VS. CONOCIMIENTO SEGMENTADO POR ÉXITO DE LA METODOLOGÍA 'A VECES'.** De los que consideran que a veces tiene éxito la metodología para abordar las necesidades, se aprecian relaciones directas estadísticamente significativas en cruces como el de que cuanto más se tiende a 'tras la ejecución de un proyecto se origina algún otro producto similar al desarrollado en el proyecto', más se tiende a conocer la terminología de la variabilidad 'Línea de productos de software' ($p=0,011$, $r=0,508$), lo mismo que para 'Familias de producto software' ($p=0,02$, $r=0,611$), así como 'Modelos de características' ($p=0,046$, $r=0,412$). El grado de correlación directa es moderado en los 2 primeros cruces y no excesivamente relevante para el de 'Modelos de características'.
 - **ÍTEMS NECESIDAD VS. CONOCIMIENTO SEGMENTADO POR ÉXITO DE LA METODOLOGÍA 'SIEMPRE'.** De los que consideran que siempre tiene éxito la metodología para abordar las necesidades, se aprecia relación directa estadísticamente significativa en el cruce como el de que cuanto más se tiende a 'tras la ejecución de un proyecto se origina algún otro producto similar al desarrollado en el proyecto', más se tiende a conocer la terminología de la variabilidad 'Modelos de características' ($p=0,038$, $r=0,353$). El grado de correlación directa no es demasiado importante.

- **COMPONENTE NECESIDAD VS. CONOCIMIENTO SEGMENTADO POR ÉXITO DE LA METODOLOGÍA 'A VECES'.** De los que consideran que siempre tiene éxito la metodología para abordar las necesidades, se aprecian relaciones directas estadísticamente significativas en cruces como el de a mayor necesidad, más se tiende a conocer la terminología de la variabilidad 'Modelos de características' ($p=0,044$, $r=0,343$), así como 'Sistemas de alta variabilidad' ($p=0,044$, $r=0,342$). El grado de correlación directa no es excesivamente relevante, en ambos cruces.
- **BUENAS PRÁCTICAS VS. NECESIDAD.** A título individual, cruzando todos los ítems, se aprecia correlación directa (aunque en ningún caso demasiado importante), estadísticamente significativa entre que 'Tras la ejecución de un proyecto se origina algún otro producto similar al desarrollado en el proyecto' y los ítems 'Elaboramos una matriz o similar donde se detallan los requisitos comunes y variables de cada uno de los productos similares de la empresa' ($p=0,001$, $r=0,29$), y 'Al realizar un producto nuevo, hacemos un análisis para determinar qué módulos/componentes son comunes con respecto a otros productos existentes, y por tanto reutilizables, y cuáles son diferentes o nuevos' ($p=0,016$, $r=0,21$). También entre la propia variable elaborar la matriz o similar y el que 'Un nuevo cliente nos pide adaptar un producto similar a partir de uno ya desarrollado/ofertado' ($p=0,024$, $r=0,2$).
- **BUENAS PRÁCTICAS VS. ÉXITO DE LAS METODOLOGÍAS.** Se aprecia correlación directa estadísticamente significativa al 1 % (99 % de confianza), entre el éxito de la metodología y cada uno de los 4 ítems de 'buenas prácticas en el análisis de los requisitos y la variabilidad de los productos', destacando la relación con el ítem hacemos un análisis para determinar qué módulos/componentes son comunes con respecto a otros productos existentes, y por tanto reutilizables, y cuáles son diferentes o nuevos ($p<0,001$; $r=0,51$).
- **BUENAS PRÁCTICAS VS. CONOCIMIENTO.** Existe correlación directa estadísticamente significativa entre elaborar la matriz y los 4 ítems de SPL, aunque en ninguno de los casos, esta relación no es demasiado importante. El ítem de analizar módulos/componentes solo tiene algo de relación directa con los sistemas de alta variabilidad. La variable de elaborar un diagrama o documentación muestra asociación directa con familia de productos software y sistemas de alta variabilidad. El ítem de la documentación donde recogemos los requisitos de un producto nuevo también incluye el análisis de las características de otros productos similares tiene correlación directa con familia de productos software, modelo de características y sistemas de alta variabilidad, aunque no demasiado relevante.

- **MADUREZ EMPLEADO VS CONOCIMIENTO.** Se puede apreciar correlación directa estadísticamente significativa, aunque no demasiado importante, entre los 4 ítems de SPL y los años de experiencia en la producción de software, a mayor experiencia laboral en el sector de producción de software, mayor utilización de las SPL. También se puede comprobar que existe correlación directa significativa al 99 %, aunque no demasiado importante, entre la componente SPL-CONOCIMIENTO como suma de los ítems (como un todo) y los años de experiencia en la producción de software ($p=0,007$; $r=0,24$).
- **PRODUCTOS VS. NECESIDAD.** A medida que aumenta el número de productos diferentes que tiene la empresa en el mercado y/o desarrollo, tiende a aumentar la variable 'Tras la ejecución de un proyecto se origina algún otro producto similar al desarrollado en el proyecto', siendo la correlación directa entre ambas variables estadísticamente significativa, aunque no excesivamente importante ($p=0,001$; $r=0,302$). Por otro lado, se aprecia correlación inversa significativa para el caso de proyectos desde 0 y número de productos ($p=0,011$; $r=-0,227$). Es decir, a medida que los proyectos tienden a ser más desde 0, disminuye el número de productos diferentes.

ANÁLISIS DE CORRELACIONES

	La metodología actual nos permite abordar nuevos productos mediante la personalización o adaptación de productos existentes	% de Proyectos que desarrolla la empresa desde 0 y Metodología personalización nuevos productos NUNCA	Tras la ejecución de un proyecto se origina algún otro producto similar al desarrollado en el proyecto y Metodología personalización nuevos productos A VECES	Tras la ejecución de un proyecto se origina algún otro producto similar al desarrollado en el proyecto y Metodología personalización nuevos productos SIEMPRE	Componente NECESIDAD y Metodología personalización nuevos productos SIEMPRE	Un nuevo cliente nos pide adaptar un producto similar a partir de uno ya desarrollado u ofertado	Líneas de Producto Software	Familias de Producto Software	Modelos de Características	Sistemas de Alta Variabilidad	Años de experiencia laboral en el sector de producción de software
Líneas de Producto Software		-,824* ⁽³⁾	,508* ⁽⁴⁾								,231** ⁽¹⁰⁾
Familias de Producto Software		-,808* ⁽³⁾	,611** ⁽⁴⁾								,213* ⁽¹⁰⁾
Modelos de Características			,412* ⁽⁴⁾	,353* ⁽⁵⁾	,343* ⁽⁶⁾						,207* ⁽¹⁰⁾
Sistemas de Alta Variabilidad	,202* ⁽¹⁾				,342* ⁽⁶⁾						,198* ⁽¹⁰⁾
% de Proyectos que se desarrollan desde cero	,184* ⁽²⁾										
Elaboramos una matriz o similar donde se detallan los requisitos comunes y variables de cada uno de los productos similares	,447** ⁽⁸⁾		,296** ⁽⁷⁾			,200* ⁽⁷⁾	,230** ⁽⁹⁾	,310** ⁽⁹⁾	,219* ⁽⁹⁾		,320** ⁽⁹⁾
Al realizar un producto nuevo, hacemos un análisis para determinar qué módulos o componentes son comunes a los ya existentes, y por tanto reutilizables	,512** ⁽⁸⁾		0,214* ⁽⁷⁾								,185* ⁽⁹⁾
Elaboramos algún diagrama o documentación que nos permite describir la interrelación entre las características de cada producto que se desarrollan	0,462** ⁽⁸⁾							,177* ⁽⁹⁾			,275** ⁽⁹⁾
La documentación donde recogemos los requisitos de un producto nuevo también incluye el análisis de las características de otros productos similares	0,341** ⁽⁸⁾							,208* ⁽⁹⁾	,188* ⁽⁹⁾		,320** ⁽⁹⁾

*La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

**La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Figura 7.16: Análisis correlacional

7.5. Resumen

En este capítulo, se presentó el diseño y la ejecución de una encuesta con el objetivo de conocer cómo las empresas gestionan la variabilidad en sus productos. El procedimiento que se realizó se dio a conocer en la contribución, poniendo a disposición los materiales empleados para la realización de la encuesta con el objetivo que se realicen réplicas que permitan aumentar la muestra y generalizar los hallazgos que se puedan encontrar.

Parte IV

PARTE FINAL

Capítulo 8

Conclusiones y trabajo futuro

Solo en Dios confío, los demás que me traigan datos.

William Deming

8.1. Conclusiones

Los resultados de esta tesis demuestran que:

1. Un estudio que sintetice y evalúe la calidad de los estudios empíricos reportados en SPLE permite evidenciar las brechas de investigación en el área y destacar áreas críticas que requieren más estudio.
2. Un estudio de evidencias empíricas acerca de cómo gestionan la variabilidad las empresas permite analizar las prácticas que realizan las empresas para la adaptación/personalización de sus productos; este tipo de estudio pueden posibilitar mediante la generalizaciones de hallazgos propuestas de mejoras en el framework SPLE permitiendo futuras transferencia de la investigación académica a entornos industriales.

A continuación, se da a conocer las conclusiones relacionadas con las contribuciones realizada en la tesis.

8.1.1. Estudios empíricos en líneas de productos de software

El primer resultado es fruto de una revisión sistemática de la literatura sobre métodos empíricos en SPLE con intervención humana. Definimos un protocolo para llevar a cabo la investigación. Se buscó documentos desde enero de

2000 hasta noviembre de 2018 y, después de aplicar los criterios de inclusión y exclusión, seleccionamos 62 estudios primarios. que abordaron tres preguntas de investigación. Como resultado de esta SLR: (i) se sintetizó el estado actual de estos estudios primarios; (ii) se evaluó la calidad de los trabajos determinando la madurez del método utilizado en los estudios primarios; (iii) se identificó el alcance de la investigación empírica en SPLE, es decir, qué procesos del marco SPLE atrajeron más la atención de los investigadores; (iii) se identificó qué tipo de publicaciones se proponen; (iv) cuándo y dónde se publicaron los artículos; (v) quiénes son los autores e instituciones que actualmente cuentan con el know-how de estudios empíricos en SPLE.

De forma específica en esta contribución, podemos destacar que la estrategia empírica más utilizada en los temas SPLE es el estudio de caso con aproximadamente un 56 %, mientras que el resto de los estudios primarios utilizan la experimentación. También, alrededor del 95 % de los estudios abordan aspectos relacionados con la Ingeniería de Dominio, mientras que hay otras áreas, especialmente las relacionadas con la ingeniería de aplicaciones, que han recibido menos atención. Observamos que hay una variedad de temas estudiados. Sin embargo, existe un interés de investigación tanto en la academia como en la industria sobre temas relacionados con la gestión y el modelado de la variabilidad.

La madurez de ejecución del método utilizado en los estudios de caso fue mayor que en los experimentos. Y la información sobre evaluaciones o los ejemplos presentados en los documentos no están validados correctamente y suelen ser deficientes. No obstante, el porcentaje de trabajos con adecuada evaluación empírica ha ido aumentando a lo largo de los años.

Se deben realizar estudios empíricos adicionales con suficiente rigor para mejorar el cuerpo de evidencia dentro del SPLE. Debido a que existen pocos estudios que aborden aspectos relacionados con la ingeniería de aplicaciones, existe una oportunidad de hacer más aportes en estos procesos.

El costo de realizar estudios basados en experimentos no es una tarea fácil, ya que debe ser planificado, ejecutado y analizado adecuadamente, sin embargo, es necesario realizar más experimentos en un entorno industrial que permitan validar los procesos del marco SPLE en la práctica. El objetivo de recomendar la ejecución de más experimentos en la industria es validar y retroalimentación del marco SPLE adaptado a la práctica.

Como resultados de este estudio, destacamos que los investigadores en futuras contribuciones deberán realizar un diseño de investigación más riguroso, con el objetivo de mejorar la calidad del método utilizado. Los investigadores deben inspirarse en directrices validadas. Recomendamos los trabajos

de Wholin [210] para experimentos y Runeson [180] para estudios de caso. Además, futuras investigaciones deberán prestar especial atención a los criterios que obtuvieron menor puntuación al evaluar la calidad del método utilizado en la estrategia empírica, para superar las deficiencias presentadas en los estudios evaluados.

En cuanto al foro de investigación, los investigadores deben considerar enviar sus contribuciones (entre otras) a *Journal of System and Software, Information and Software Technology* y *Empirical Software Evidence* ya que se ha verificado que este tipo de contribuciones se encuentran dentro del alcance de los temas de interés de estas revistas.

8.1.2. Gestión de la variabilidad en empresas

Las líneas de productos de software son el resultado de la evolución de la personalización masiva. Son sistemas de alta variabilidad que pueden personalizarse según las necesidades específicas de las partes interesadas en un contexto particular, por sus beneficios muchos autores las reconocen como una de las contribuciones más importantes en el campo de la ingeniería de línea de productos de software.

Las evidencias empíricas se puede considerar como un método que sustenta el conocimiento. Normalmente, se espera que el conocimiento resulte de la evidencia empírica. Sin embargo, la conexión entre la evidencia empírica y el conocimiento pocas veces está bien definido.

En un intento de contribuir con la reducción de la brecha de la aplicación práctica del paradigma de SPL en las empresas se propuso el diseño de un estudio de caso y el desarrollo y ejecución de una encuesta para conocer como las empresas gestionan la variabilidad en sus productos.

Primera contribución respecto al estudio de la gestión de la variabilidad en las empresas.

Los estudios de casos consumen mucho tiempo tanto para los investigadores como para las organizaciones objeto de estudio, y no debemos generalizar a partir de un solo caso, ya que no tenemos suficientes datos para el análisis estadístico. Para generalizar, necesitamos réplicas que utilicen exactamente el mismo protocolo que se utilizó para el caso original.

Se desarrolló cuidadosamente un protocolo de estudio de caso que describe con precisión el contexto del caso y se puso a disposición de otros investigadores. Se definieron los objetivos y el alcance, y también se identificó los

protocolos y procedimientos a seguir para la recolección de datos. De la aplicación del estudio de caso en una primera empresa se concluyó que la empresa tiene definido un portafolio de productos que especifica las características de cada producto. Además, también define el alcance de sus productos y cuenta con una plataforma común.

Sin embargo, no cuentan con un documento que analice las partes comunes o variables de su cartera de productos. Además, tampoco prevén el mantenimiento de sus productos. Podemos inferir que la variabilidad a nivel de gestión de productos en la empresa está parcialmente gestionada.

No se obtuvieron resultados positivos de la gestión de la variabilidad a nivel de requisitos de dominio ya que no existen modelos conceptuales para la definición de requisitos, no realizan un análisis de los requisitos del producto, ni utilizan modelos ortogonales de variabilidad. Inferimos que, la empresa no cumple con las actividades que realiza en el dominio de la ingeniería de requisitos. Ya que no gestiona la variabilidad a nivel de ingeniería de requisitos de dominio.

En cuanto a la gestión de la variabilidad a nivel de ingeniería de requisitos de aplicación, se respeta el principio de reutilización, es decir, si las especificaciones de los requisitos de aplicación son comunes a las ya existentes, entonces se reutiliza lo ya existente.

Segunda contribución respecto al estudio de la gestión de la variabilidad en las empresas. Se ha presentado la aplicación de una encuesta. Entre los resultados principales, encontramos que los productos del portafolio de las empresas encuestadas están relacionados y la metodología actual de desarrollo permite abordar nuevos productos a través de la personalización o adaptación de productos existentes ahorrando coste y tiempo.

Las empresas realizan prácticas de gestión de la variabilidad debido a que se introduce la variabilidad durante el subproceso de gestión del producto cuando se identifican las características comunes y variables de las aplicaciones de la cartera de productos software que ellos desarrollan, podemos decir que existe la intención de gestión de lo que en el paradigma SPL se conoce como Hoja de ruta.

Al menos el 50% de las empresas analizan los requisitos para identificar aquellos que son comunes a todas las aplicaciones y aquellos que son específicos para aplicaciones particulares.

Las empresas buscan reutilizar y realizan análisis para efectuar la reutilización de componentes comunes, y únicamente desarrollan los nuevos requerimientos de sus clientes lo que en SPL se conoce como deltas de aplicaciones.

Menos del 50% de las empresas documentan el análisis que realizan para evidenciar las características de sus productos o las interrelaciones existentes entre sus productos.

8.2. Trabajo futuro

8.2.1. Estudios empíricos en líneas de productos de software

Ampliar el estudio de evidencias empíricas en SPL. Se plantea actualizar la revisión sistemática de la literatura pasado 6 años, con el objetivo de incrementar el análisis realizado, incluyendo estudios desde diciembre 2018, aplicando el mismo protocolo puesto a disposición de la comunidad.

Realizar estudio de evidencias empíricas en SPL sin intervención de humanos. Uno de los criterios de exclusión de la contribución fue trabajos que no tengan evidencia empírica con intervención de humanos en SPLE. Se plantea actualizar la SLR y ampliar el enfoque, es decir incluyendo toda evidencia empírica reportada en SPLE.

8.2.2. Gestión de la variabilidad en empresas

Ejecución del estudio de caso en otras empresas. En relación a la segunda contribución de la tesis, donde se presentó el diseño de un estudio de caso junto con la validación de la aplicación del protocolo obteniendo resultados preliminares en una empresa ecuatoriana. Debido a las limitantes de acceso y consentimiento de las empresas no se pudo efectuar el estudio en otras. Por lo que se plantea como trabajo futuro la ejecución del estudio de caso en más empresas aplicando el protocolo del diseño de estudio de caso puesto a disposición de la comunidad de investigadores. El objetivo de la aplicación es analizar los resultados conjuntos y determinar los enfoques o metodologías que aplican las empresas para generalizar los hallazgos encontrados contrastar con los conceptos SPL buscando develar cómo estas empresas gestionan variabilidad.

Ampliar la muestra de los encuestados. En relación a la tercera contribución de la tesis, donde se presentó los resultados de una encuesta aplicada en España a través de los nodos de TASOVA, se propone como trabajo futuro realizar la misma encuesta en un país diferente, el objetivo de la aplicación

es analizar los resultados conjuntos y determinar patrones de comportamiento, enfoques o metodologías que aplican las empresas y generalizar hallazgos encontrados, contrastar con los conceptos SPL buscando desvelar cómo estas empresas gestionan variabilidad en sus productos.

Conjunto de pasos que permitan la transición a SPLE. El conjunto de conocimiento de la aplicación de la encuesta y la aplicación del protocolo del estudio de caso en más empresas, permitirá determinar en qué medida las empresas están aplicando enfoques SPL en contextos industriales. Con estos resultados se podría definir algunas prácticas de adopción más generalizadas que puedan fundamentar un conjunto de pasos que permitan a las empresas realizar la transición al paradigma de SPLE, permitiendo fortalecer el marco SPLE.

Conjunto de practicas para mejorar la adaptación/personalización de productos. Se estima que podrían existir empresas que no estén preparadas tecnológicamente, o que estén realizando una inadecuada aplicación de ingeniería de requerimiento retrasando la madurez del proceso o que simplemente no estén motivadas a realizar la transición, para este sector se podría presentar un conjunto de practicas que permitan a las empresas explotar de mejor manera la adaptación/personalización de sus activos para generar producción de software.

8.3. Una última frase para concluir

Como conclusión de la disertación, hago referencia a una frase celebre del filósofo de la antigua Grecia Aristóteles:

Nunca se alcanza la verdad total, ni nunca se está totalmente alejado de ella.

Parte V

APÉNDICES

Apéndice A

Estudios empíricos en SPLE

A.1. Cadena de búsqueda utilizadas en bases de datos

Esta sección contiene todo el material y las fuentes utilizadas en la extracción de datos.

- ACM: Se utilizó la búsqueda avanzada para generar un conjunto inicial de artículos. Los resultados se almacenaron en un archivo bibtex.
- IEEEExplore: Se restringió la búsqueda al título y resumen de cada publicación, y se habilitó la opción "Texto completo y metadatos". El único formato disponible para exportar desde IEEEExplore era .csv.
- Science Direct: Primero, utilizó la búsqueda avanzada para generar un conjunto inicial de artículos, y luego se filtró los resultados obtenidos. Seleccionamos Ciencias de la Computación como área de conocimiento. Los resultados se almacenaron en un archivo bibtex.
- Scopus: Se restringió la búsqueda a títulos de publicaciones y resúmenes, agregando las palabras "TITLE-ABS" antes de los términos de búsqueda. También restringimos la búsqueda a Informática agregando "Y SUBAREA (" COMP ")". Se excluyó los artículos que no están en inglés agregando las palabras "EXCLUDE (LANGUAGE,"Portuguese","French", "Japanese","Chinese","German") y los tipos de documentos que no eran artículos agregando EXCLUDE (DOCTYPE, "bk", "ch", "ip", "re", "ed", "er") Los resultados se almacenaron en un archivo bibtex.

Biblioteca	Cadena de búsqueda	Resultado
ACM	+("Software product line " " software product lines" " software product family" " software product families")+("empirical" "survey" "experiment" "case study" "experience report")	659
IEEEExplore	((("Software product line" OR "Software product lines" OR "Software product family" OR "Software product families") AND ("Empirical" OR "Survey" OR "Experiment" OR "Case study" OR "Experience report")))	283
Science Direct	for pub-date > 1999 and ("Software product line" OR "Software product lines" OR "Software product family" OR "Software product families") AND ("Empirical" OR "Survey" OR "Experiment" OR "Case study" OR "Experience report") [All Sources(Computer Science)]	613
Scopus	(TITLE-ABS-KEY (Software product line OR Software product lines OR Software product family OR Software product families) AND TITLE-ABS-KEY (Empirical OR Survey OR Experiment OR Case Study OR Experience report)) AND PUBYEAR >1999 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "COMP ")) AND (EXCLUDE (DOCTYPE , "bk ") OR EXCLUDE (DOCTYPE , "ch ") OR EXCLUDE (DOCTYPE , "ip ") OR EXCLUDE (DOCTYPE , "re ") OR EXCLUDE (DOCTYPE , "ed ") OR EXCLUDE (DOCTYPE , "er ")) AND (EXCLUDE (LANGUAGE , "Portuguese ") OR EXCLUDE (LANGUAGE , "French ") OR EXCLUDE (LANGUAGE , "Japanese ") OR EXCLUDE (LANGUAGE , "Chinese ") OR EXCLUDE (LANGUAGE , "German ")) AND (EXCLUDE (DOCTYPE , "cr"))	751

Tabla A.1: Cadena de búsqueda y artículos recuperados de cada biblioteca

A.2. Propiedades de extracción de datos

La Tabla §A.2 muestra las propiedades para la extracción de datos y, específicamente, la tercera columna enumera los posibles valores que se pueden usar para responder el RQ1 de los estudios primarios. Las tablas §A.3 y §A.4 muestran los formularios utilizados para extraer los datos relacionados con la calidad del procedimiento para estudios de casos y experimentos respectivamente. En ambos casos, la columna Propiedad menciona cada elemento o criterio de verificación del cual buscamos extraer información de cada estudio primario. Los valores posibles para estos elementos son 1 si cumple el criterio o 0 si no lo cumple

A.3. Características de un informe de estudio de caso

Nº	Propiedad	Valores	Descripción	R.Q.
1	Estrategia empírica	<ul style="list-style-type: none"> - Experimento - Estudio de Caso - Cuasi-Experimento - Encuesta 	Estrategias empíricas dadas por [210]	RQ1.1.
2	Marco de proceso	<ul style="list-style-type: none"> - Gestión de productos - Ingeniería de requerimiento de dominio - Diseño de dominio - Realización de dominio - Pruebas de dominio - Ingeniería de requerimientos de aplicación - Diseño de aplicación - realización de aplicación - Pruebas de Aplicación - No especificado. 	Marco para la ingeniería de línea de productos de software Pohl y otros [172]	RQ1.2.
3	Contexto de investigación	<ul style="list-style-type: none"> - Académico - Industrial 	Tipo de contexto	RQ1.3.
4	Número de participantes	<ul style="list-style-type: none"> - ≤ 20 participantes - >20 or ≤ 100 participantes - ≥ 100 participantes - No específico participantes 	Número de sujetos	RQ1.3.
5	Tipo de muestra	<ul style="list-style-type: none"> - Muestreo aleatorio simple - Muestreo sistemático - Muestreo aleatorio estratificado - Muestreo aleatorio por conglomerados - Muestreo de conveniencia - Muestreo por cuotas 	Tipo de muestra	RQ1.3.
6	¿Qué se evalúa?	<ul style="list-style-type: none"> - Técnica - Proceso - Herramienta 	According to Basili [72]	RQ1.3.
7	Descripción del objetivo	<ul style="list-style-type: none"> - Evalúa una propuesta del mismo artículo - Evalúa una propuesta existente - Es una réplica de un experimento - No especificado 	Descripción del objetivo	RQ1.3.

Tabla A.2: Propiedades de extracción de datos

Nº	Propiedades	Valores	Descripciones	R.Q.
1	Justificación del estudio	- Si - No	La investigación presenta claramente las razones para realizar el estudio..	RQ2
2	Objetivo del estudio	- Si - No	Se presenta una declaración de lo que el investigador, y quizás los participantes industriales, esperan lograr como resultado de la realización de ese estudio..	RQ2
3	Casos y Unidades de Análisis	- Si - No	¿Se menciona de manera general o específicamente lo que se está estudiando?	RQ2
4	Marco teórico	- Si - No	¿Se menciona cuál es el marco teórico de referencia?	RQ2
5	Pregunta de investigación	- Si - No	¿Se menciona qué conocimiento se buscará o se espera descubrir?	RQ2
6	Proposiciones e Hipótesis	- Proposiciones - Hipótesis - Ambos - No especificado	¿Se menciona en los artículos qué relaciones particulares (causales) se van a investigar?	RQ2
7	Los métodos de recopilación de datos	- Si - No	¿Cómo se recopilarán los datos?	RQ2
8	Métodos de análisis de datos	-No menciona -No menciona, pero se hace - No detalla - Da algunos detalles - Da más detalles - Detalla ampliamente	¿Cómo se analizarán los datos?	RQ2
9	Estrategia de selección de datos	- Si - No	¿Cómo se identificarán y seleccionarán los datos? ¿Quién será entrevistado? ¿Qué fuentes de datos electrónicos están disponibles para su uso en el estudio?	RQ2
10	Garantía de calidad, validez y confiabilidad	- Si - No	¿Cómo se verificará la calidad de los datos recopilados? ¿Cómo se verificará la calidad del análisis?	RQ2

Tabla A.3: Extracción de datos de estudios de casos

Nº	Propiedad	Valores	Descripción	R.Q.
1	Definición de objetivos	- Si - No	Objeto de estudio (¿qué se estudia?) y finalidad (¿cuál es la intención?).	RQ2
2	Selección de contexto	- Si - No	El equilibrio entre hacer que los estudios sean válidos en un contexto específico o válidos para el dominio general de la ingeniería de software.	RQ2
3	Formulación de hipótesis	- Si - No	Una hipótesis se establece formalmente.	RQ2
4	Selección de variables	- Si - No	Se eligen variables dependientes e independientes.	RQ2
5	Selección de temas	- Si - No	Se indica la selección de sujetos o una muestra de la población que participa en el experimento.	RQ2
6	Selección del tipo de diseño	- Si - No	El diseño de un experimento describe cómo se organizan y ejecutan las pruebas..	RQ2
7	Instrumentación	- Si - No	Se seleccionan los objetos, guías o instrumentos de medida a aplicar en el experimento.	RQ2
8	Evaluación de validez	- Si - No	Hay una sección que demuestra la validez del experimento, por ejemplo, la conclusión, la validez interna, la construcción o la validez externa.	RQ2
9	Preparación	- Si - No	Antes de ejecutar el experimento, se selecciona e informa a los participantes, y se prepara el material como formularios y/o herramientas.	RQ2
10	Ejecución	- Si - No	Se describe cómo se lleva a cabo el experimento: recopilación de datos (¿entrevistas, formularios en línea?) o período de tiempo.	RQ2
11	Validación de datos	- Si - No	El experimentador verifica que los datos sean razonables y que se hayan recopilado correctamente.	RQ2
12	Estadísticas descriptivas	- Si - No	Se presentan estadísticas sobre el procesamiento numérico del conjunto de datos recopilados.	RQ2
13	Reducción del conjunto de datos	- Si - No	¿Se aplican métodos estadísticos para detectar valores atípicos? ¿Se reduce el conjunto de datos si se detectan errores sistemáticos en los datos?	RQ2
14	Prueba de hipótesis	- Si - No	Se realiza alguna prueba de hipótesis para ver si es posible rechazar la hipótesis nula.	RQ2
15	Presentación & paquete	- Si - No	Hay un apartado dedicado a la presentación de los resultados obtenidos de la ejecución del experimento.	RQ2

Tabla A.4: Extracción de datos de los experimentos

Características	Características de un estudio de caso
C1	Describir de qué se trataba el estudio de caso.
C2	Comunicar un sentido claro del caso estudiado.
C3	Proporciona una "historia de la investigación" para que el lector pueda ver qué se hizo, quién lo hizo y cómo.
C4	Proporcionar datos básicos en una forma enfocada, para que el lector pueda tener la confianza de que las conclusiones son razonables.
C5	Articular las conclusiones del investigador y ubicarlas en un contexto al que afecten.

Tabla A.5: Características que debe tener un informe de estudio de caso [177]

Apéndice B

Fuentes primarias para el SLR

Referencias

- [1] J. F. Bastos, P. A. da Mota Silveira Neto, P. O’Leary, E. S. de Almeida, S. R. de Lemos Meira, Software product lines adoption in small organizations, *Journal of Systems and Software* 131 (2017) 112–128, 10.1016/j.jss.2017.05.052, URL <https://doi.org/10.1016/j.jss.2017.05.052>.
- [2] J. Kim, S. Park, V. Sugumaran, DRAMA: A framework for domain requirements analysis and modeling architectures in software product lines, *Journal of Systems and Software* 81 (1) (2008) 37–55, 10.1016/j.jss.2007.04.011, URL <https://doi.org/10.1016/j.jss.2007.04.011>.
- [3] J. Feigenspan, C. Kästner, S. Apel, J. Liebig, M. Schulze, R. Dachsel, M. Papendieck, T. Leich, G. Saake, Do background colors improve program comprehension in the #ifdef hell?, *Empirical Software Engineering* 18 (4) (2013) 699–745, 10.1007/s10664-012-9208-x, URL <https://doi.org/10.1007/s10664-012-9208-x>.
- [4] A. K. Thurimella, B. Brügge, A mixed-method approach for the empirical evaluation of the issue-based variability modeling, *Journal of Systems and Software* 86 (7) (2013) 1831–1849, 10.1016/j.jss.2013.01.038, URL <https://doi.org/10.1016/j.jss.2013.01.038>.
- [5] F. Ahmed, L. F. Capretz, S. A. Sheikh, Institutionalization of software product line: An empirical investigation of key organizational factors, *Journal of Systems and Software* 80 (6) (2007) 836–849, 10.1016/j.jss.2006.09.010, URL <https://doi.org/10.1016/j.jss.2006.09.010>.
- [6] T. Berger, Variability Modeling in the Wild, in: *International Software Product Line Conference*, ISBN 9781450310956, 287, 2012.
- [7] A. Classen, Q. Boucher, P. Heymans, A text-based approach to feature modelling: Syntax and semantics of TVL, *Sci. Comput. Program.* 76 (12) (2011) 1130–1143, 10.1016/j.scico.2010.10.005, URL <https://doi.org/10.1016/j.scico.2010.10.005>.
- [8] G. C. B. Costa, R. M. M. Braga, J. M. N. David, F. Campos, A Scientific Software Product Line for the Bioinformatics domain, *Journal of*

- Biomedical Informatics 56 (2015) 239–264, 10.1016/j.jbi.2015.05.014, URL <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2015.05.014>.
- [9] I. F. da Silva, P. A. da Mota Silveira Neto, P. O’Leary, E. S. de Almeida, S. R. de Lemos Meira, Software product line scoping and requirements engineering in a small and medium-sized enterprise: An industrial case study, *Journal of Systems and Software* 88 (2014) 189–206, 10.1016/j.jss.2013.10.040, URL <https://doi.org/10.1016/j.jss.2013.10.040>.
- [10] I. F. da Silva, P. A. da Mota Silveira Neto, P. O’Leary, E. S. de Almeida, S. R. de Lemos Meira, Using a multi-method approach to understand Agile software product lines, *Information & Software Technology* 57 (2015) 527–542, 10.1016/j.infsof.2014.06.004, URL <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2014.06.004>.
- [11] S. Deelstra, M. Sinnema, J. Bosch, Product derivation in software product families: a case study, *Journal of Systems and Software* 74 (2) (2005) 173–194, 10.1016/j.jss.2003.11.012, URL <https://doi.org/10.1016/j.jss.2003.11.012>.
- [12] S. Deelstra, M. Sinnema, J. Bosch, Variability assessment in software product families, *Information & Software Technology* 51 (1) (2009) 195–218, 10.1016/j.infsof.2008.04.002, URL <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2008.04.002>.
- [13] S. Dey, S. Lee, REASSURE: Requirements elicitation for adaptive socio-technical systems using repertory grid, *Information & Software Technology* 87 (2017) 160–179, 10.1016/j.infsof.2017.03.004, URL <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2017.03.004>.
- [14] L. S. de Oliveira, P. O’Leary, E. S. de Almeida, S. R. de Lemos Meira, Product derivation in practice, *Information & Software Technology* 58 (2015) 319–337, 10.1016/j.infsof.2014.07.004, URL <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2014.07.004>.
- [15] J. Díaz, J. Pérez, J. Garbajosa, Agile product-line architecting in practice: A case study in smart grids, *Information & Software Technology* 56 (7) (2014) 727–748, 10.1016/j.infsof.2014.01.014, URL <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2014.01.014>.
- [16] J. Díaz, J. Pérez, J. Garbajosa, A model for tracing variability from features to product-line architectures: a case study in smart grids, *Requir. Eng.* 20 (3) (2015) 323–343, 10.1007/s00766-014-0203-1, URL <https://doi.org/10.1007/s00766-014-0203-1>.

- [17] J. Echeverria, F. Perez, A. Abellanas, P. Ignacio, C. Cetina, O. Pastor, Evaluating Bug-Fixing in Software Product Lines: an Industrial Case Study, in: *International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement*, ISBN 9781450344272, 2016.
- [18] U. Eklund, H. Gustavsson, Architecting automotive product lines: Industrial practice, *Sci. Comput. Program.* 78 (12) (2013) 2347–2359, 10.1016/j.scico.2012.06.008, URL <https://doi.org/10.1016/j.scico.2012.06.008>.
- [19] E. Engström, P. Runeson, Test overlay in an emerging software product line - An industrial case study, *Information & Software Technology* 55 (3) (2013) 581–594, 10.1016/j.infsof.2012.04.009, URL <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2012.04.009>.
- [20] M. Eriksson, J. Börstler, K. Borg, Managing requirements specifications for product lines - An approach and industry case study, *Journal of Systems and Software* 82 (3) (2009) 435–447, \let\@tempa\bibinfo@X@doi10.1016/j.jss.2008.07.046, URL <https://doi.org/10.1016/j.jss.2008.07.046>.
- [21] E. Figueiredo, N. Cacho, C. Sant’Anna, M. Monteiro, K. Uira, A. Garcia, S. Soares, F. Ferrari, S. Khan, F. Castor Filho, F. Dantas, Evolving Software Product Lines with Aspects: An Empirical Study on Design Stability, in: *International Conference on Software Engineering*, ACM, ISBN 9781605580791, 882, 2008.
- [22] M. Galster, P. Avgeriou, An industrial case study on variability handling in large enterprise software systems, *Information & Software Technology* 60 (2015) 16–31, 10.1016/j.infsof.2014.12.003, URL <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2014.12.003>.
- [23] D. Ganesan, D. Muthig, K. Yoshimura, Predicting Return-on-Investment for Product Line Generations, in: *International Software Product Line Conference*, 2006.
- [24] G. K. Hanssen, T. E. Fægri, Process fusion: An industrial case study on agile software product line engineering, *Journal of Systems and Software* 81 (6) (2008) 843–854, 10.1016/j.jss.2007.10.025, URL <https://doi.org/10.1016/j.jss.2007.10.025>.
- [25] G. K. Hanssen, Agile software product line engineering: enabling factors, *Softw., Pract. Exper.* 41 (8) (2011) 883–897, 10.1002/spe.1064, URL <https://doi.org/10.1002/spe.1064>.

- [26] H. Koziol, T. Goldschmidt, T. de Gooijer, D. Domis, S. Sehestedt, T. Gamer, M. Aleksy, Assessing software product line potential: an exploratory industrial case study, *Empirical Software Engineering* 21 (2) (2016) 411–448, 10.1007/s10664-014-9358-0, URL <https://doi.org/10.1007/s10664-014-9358-0>.
- [27] J. Martinez, X. Törnava, T. Ziadi, Software product line extraction from variability-rich systems: The robocode case study, in: *International Software Product Line Conference*, vol. 1, Association for Computing Machinery, ISBN 9781450363716, 132–142, 10.1145/3233027.3233038, 2018.
- [28] V. Myllärniemi, J. Savolainen, T. Männistö, Performance variability in software product lines: A case study in the telecommunication domain, in: *International Software Product Line Conference*, ISBN 9781450319683, 32–41, 10.1145/2491627.2491631, 2013.
- [29] R. P. de Oliveira, D. Blanes, J. Gonzalez-Huerta, E. Insfrán, S. Abrahão, S. Cohen, E. S. de Almeida, Defining and Validating a Feature-Driven Requirements Engineering Approach, *J. UCS* 20 (5) (2014) 666–691, 10.3217/jucs-020-05-0666, URL <https://doi.org/10.3217/jucs-020-05-0666>.
- [30] J. Bosch, P. Bosch-Sijtsema, Introducing agile customer-centered development in a legacy software product line, *Softw., Pract. Exper.* 41 (8) (2011) 871–882, 10.1002/spe.1063, URL <https://doi.org/10.1002/spe.1063>.
- [31] T. Patzke, M. Becker, M. Steffens, K. Sierszecki, Identifying Improvement Potential in Evolving Product Line Infrastructures: 3 Case Studies, in: *International Software Product Line Conference*, ACM, ISBN 9781450310949, 2012.
- [32] J. Rubin, K. Czarnecki, M. Chechik, Managing Cloned Variants: A Framework and Experience, in: *International Software Product Line Conference*, ISBN 9781450319683, 286, 2013.
- [33] I. S. Souza, G. S. da Silva Gomes, P. A. da Mota Silveira Neto, I. do Carmo Machado, E. S. de Almeida, S. R. de Lemos Meira, Evidence of software inspection on feature specification for software product lines, *Journal of Systems and Software* 86 (5) (2013) 1172–1190, 10.1016/j.jss.2012.11.044, URL <https://doi.org/10.1016/j.jss.2012.11.044>.
- [34] A. K. Thurimella, B. Bruegge, O. Creighton, Identifying and exploiting the similarities between rationale management and variability management, in: *International Software Product Line Conference*, IEEE Computer Society, ISBN 9780769533032, 99–108, 10.1109/SPLC.2008.14, 2008.

- [35] M. Usman, M. Z. Iqbal, M. U. Khan, A product-line model-driven engineering approach for generating feature-based mobile applications, *Journal of Systems and Software* 123 (2017) 1–32, 10.1016/j.jss.2016.09.049, URL <https://doi.org/10.1016/j.jss.2016.09.049>.
- [36] D. Wille, K. Wehling, C. Seidl, M. Pluchator, I. Schaefer, Variability mining of technical architectures, in: *International Software Product Line Conference*, vol. 1, Association for Computing Machinery, ISBN 9781450352215, 39–48, 10.1145/3106195.3106202, 2017.
- [37] G. Zhang, H. Ye, Y. Lin, Quality attribute modeling and quality aware product configuration in software product lines, *Software Quality Journal* 22 (3) (2014) 365–401, 10.1007/s11219-013-9197-z, URL <https://doi.org/10.1007/s11219-013-9197-z>.
- [38] P. R. G. Accioly, P. Borba, R. Bonifácio, Controlled Experiments Comparing Black-box Testing Strategies for Software Product Lines, *J. UCS* 20 (5) (2014) 615–639, 10.3217/jucs-020-05-0615, URL <https://doi.org/10.3217/jucs-020-05-0615>.
- [39] F. Ahmed, L. F. Capretz, The software product line architecture: An empirical investigation of key process activities, *Information & Software Technology* 50 (11) (2008) 1098–1113, 10.1016/j.infsof.2007.10.013, URL <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2007.10.013>.
- [40] M. Asadi, S. Soltani, D. Gasevic, M. Hatala, The effects of visualization and interaction techniques on feature model configuration, *Empirical Software Engineering* 21 (4) (2016) 1706–1743, 10.1007/s10664-014-9353-5, URL <https://doi.org/10.1007/s10664-014-9353-5>.
- [41] E. Bagheri, D. Gasevic, Assessing the maintainability of software product line feature models using structural metrics, *Software Quality Journal* 19 (3) (2011) 579–612, 10.1007/s11219-010-9127-2, URL <https://doi.org/10.1007/s11219-010-9127-2>.
- [42] R. Bonifácio, P. Borba, C. Ferraz, P. R. G. Accioly, Empirical assessment of two approaches for specifying software product line use case scenarios, *Software and System Modeling* 16 (1) (2017) 97–123, 10.1007/s10270-015-0471-3, URL <https://doi.org/10.1007/s10270-015-0471-3>.
- [43] C. Cetina, P. Giner, J. Fons, V. Pelechano, Prototyping Dynamic Software Product Lines to evaluate run-time reconfigurations, *Sci. Comput. Program.* 78 (12) (2013) 2399–2413, 10.1016/j.scico.2012.06.007, URL <https://doi.org/10.1016/j.scico.2012.06.007>.

- [44] C. Denger, R. Kolb, Testing and Inspecting Reusable Product Line Components: First Empirical Results, in: International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement, 2006.
- [45] D. Dermeval, T. Tenório, I. Ibert, A. Silva, S. Isotani, M. Ribeiro, Expert Systems with Applications Ontology-based feature modeling : An empirical study in changing scenarios, Expert Systems with applications 42 (11) (2015) 4950–4964, ISSN 0957-4174, 10.1016/j.eswa.2015.02.020, URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2015.02.020>.
- [46] J. Gonzalez-Huerta, E. Insfrán, S. M. Abrahão, G. Scanniello, Validating a model-driven software architecture evaluation and improvement method: A family of experiments, Information & Software Technology 57 (2015) 405–429, 10.1016/j.infsof.2014.05.018, URL <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2014.05.018>.
- [47] V. Guana, D. Correal, Improving software product line configuration: A quality attribute-driven approach, Information & Software Technology 55 (3) (2013) 541–562, 10.1016/j.infsof.2012.09.007, URL <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2012.09.007>.
- [48] Y. Liu, L. Liu, H. Liu, X. Wang, H. Yang, Mining domain knowledge from app descriptions, Journal of Systems and Software 133 (2017) 126–144, 10.1016/j.jss.2017.08.024, URL <https://doi.org/10.1016/j.jss.2017.08.024>.
- [49] J. Martinez, T. Ziadi, T. F. Bissyandé, J. Klein, Y. Le Traon, Bottom-Up adoption of software product lines - A generic and extensible approach, in: International Software Product Line Conference, vol. 20-24-July-2015, Association for Computing Machinery, ISBN 9781450336130, 101–110, 10.1145/2791060.2791086, 2015.
- [50] B. Michalik, D. Weyns, N. Boucké, A. Helleboogh, Supporting online updates of software product lines: A controlled experiment, in: International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement, ISSN 19493770, 187–196, 2011.
- [51] J. A. Pereira, S. Schulze, E. Figueiredo, G. Saake, N-dimensional tensor factorization for self-configuration of software product lines at runtime, in: International Software Product Line Conference, vol. 1, Association for Computing Machinery, ISBN 9781450363716, 87–97, 10.1145/3233027.3233039, 2018.
- [52] I. Reinhartz-Berger, K. Figl, Comprehensibility of Orthogonal Variability modeling languages: The cases of CVL and OVM, in: International Software Product Line Conference, vol. 1, Association for Computing Machinery, ISBN 9781450327404, 42–51, 10.1145/2648511.2648516, 2014.

- [53] I. Reinhartz-Berger, A. Sturm, Comprehensibility of UML-based software product line specifications - A controlled experiment, *Empirical Software Engineering* 19 (3) (2014) 678–713, 10.1007/s10664-012-9234-8, URL <https://doi.org/10.1007/s10664-012-9234-8>.
- [54] I. Reinhartz-Berger, K. Figl, Ø. Haugen, Investigating styles in variability modeling: Hierarchical vs. constrained styles, *Information & Software Technology* 87 (2017) 81–102, 10.1016/j.infsof.2017.01.012, URL <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2017.01.012>.
- [55] M. Saeed, F. Saleh, S. Al-Insaif, M. El-Attar, Empirical validating the cognitive effectiveness of a new feature diagrams visual syntax, *Information & Software Technology* 71 (2016) 1–26, 10.1016/j.infsof.2015.10.012, URL <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2015.10.012>.
- [56] A. R. Santos, I. Do Carmo Machado, E. S. De Almeida, RiPLE-HC: JavaScript systems meets SPL composition, in: *International Software Product Line Conference*, vol. 16-23-September-2016, Association for Computing Machinery, ISBN 9781450340502, 154–162, 10.1145/2934466.2934486, 2016.
- [57] J. Feigenspan, M. Schulze, M. Papendieck, C. Kästner, R. Dachsel, V. Köppen, M. Frisch, G. Saake, Supporting program comprehension in large preprocessor-based software product lines, *IET Software* 6 (6) (2012) 488–501, 10.1049/iet-sen.2011.0172, URL <https://doi.org/10.1049/iet-sen.2011.0172>.
- [58] M. Sinnema, S. Deelstra, Industrial validation of COVAMOF, *Journal of Systems and Software* 81 (4) (2008) 584–600, 10.1016/j.jss.2007.06.002, URL <https://doi.org/10.1016/j.jss.2007.06.002>.
- [59] J. Stein, I. Nunes, E. Cirilo, Preference-based feature model configuration with multiple stakeholders, in: *International Software Product Line Conference*, vol. 1, Association for Computing Machinery, ISBN 9781450327404, 132–141, 10.1145/2648511.2648525, 2014.
- [60] T. Thüm, M. Ribeiro, R. Schröter, J. Siegmund, F. Dalton, Product-line maintenance with emergent contract interfaces, in: *International Software Product Line Conference*, vol. 16-23-September-2016, Association for Computing Machinery, ISBN 9781450340502, 134–143, 10.1145/2934466.2934471, 2016.
- [61] A. Vasilevskiy, F. Chauvel, Ø. Haugen, Toward robust product realisation in software product lines, in: *International Software Product Line Conference*, vol. 16-23-September-2016, Association for Computing Machinery, ISBN 9781450340502, 184–193, 10.1145/2934466.2934484, 2016.

- [62] Y. Wang, A. Kobsa, A PLA-based privacy-enhancing user modeling framework and its evaluation, *User Model. User-Adapt. Interact.* 23 (1) (2013) 41–82, 10.1007/s11257-011-9114-8, URL <https://doi.org/10.1007/s11257-011-9114-8>.

Apéndice C

Encuesta sobre SPLE

C.1. Perfil de la empresa

Encuesta sobre gestión de la variabilidad del software			
Sección	ID	Pregunta	Respuestas
Perfil de la empresa	Q1	Nombre de la empresa	Abierta
	Q2	Página Web de la empresa	Abierta
	Q3	Ámbito del mercado de la empresa	Nacional/ Internacional/ Otros
	Q4	Tipo de empresa	Pública/ Privada
	Q5	Tamaño de la empresa	Pequeña (0-50)/ Mediana (50-250)/ Grande (+ de 250)
	Q6	¿Cuántos años lleva la empresa en el mercado?	3 años o menos/ Entre 4 y 10 años/ Más de 10 años
Perfil del participante	Q7	Nombre y Apellidos	Abierta
	Q8	Teléfono de contacto	Abierta
	Q9	E-mail de contacto	Abierta
	Q10	¿Quiere ser contactado para enviarle los resultados o avances del estudio?	Si/No
	Q11	Ciudad desde donde trabaja	Abierta
	Q12	Años de experiencia laboral en el sector de producción de software	3 años o menos/ Entre 4 y 10 años/ Más de 10 años
	Q13	¿Cuál de las siguientes descripciones de su puesto de trabajo coincide más con la suya?	Gerente/ Consultor/ Dirección de departamento o jefe de proyectos/ Analista/ Programador
Perfil de los productos que desarrolla la empresa	Q14	¿Qué tipo de productos desarrolla la empresa? (selección múltiple)	Aplicaciones web/ Aplicaciones Móviles/ Sistemas de control/ Sistemas críticos/ Internet de las cosas/ Análisis de datos/ ERPs/ Seguridad/ Sistemas de Información/ Otro.
	Q15	¿De qué tamaño son los proyectos que desarrolla la empresa?	Pequeños (menos de 100.000 euros)/ Medianos (entre 100.000 y 500.000 euros)/ Grandes (más de 500.000 euros)
	Q16	¿Cuántos productos diferentes tiene actualmente la empresa en el mercado y/o en desarrollo?	Entre 1 y 5/ Entre 5 y 10/ Entre 10 y 20/ Más de 20/ No lo sé.

Tabla C.1: Secciones sobre el perfil de la empresa

C.2. Gestión del desarrollo

Encuesta sobre gestión de la variabilidad del software			
Sección	ID	Pregunta	Respuestas
Adaptación- Personalización de productos	Q17	Tras la ejecución de un proyecto se origina algún otro producto similar al desarrollado en el proyecto	Siempre/ Con Frecuencia/ A veces/ Ocasionalmente/ Nunca
	Q18	Un nuevo cliente nos pide adaptar un producto similar a partir de uno ya desarrollado/ofertado	Siempre/ Con Frecuencia/ A veces/ Ocasionalmente/ Nunca
	Q19	La metodología actual de la empresa nos permite abordar nuevos productos mediante la personalización o adaptación de productos existentes de tal forma que ahorramos tiempo y coste.	Siempre/ Con Frecuencia/ A veces/ Ocasionalmente/ Nunca
	Q20	Indique cuál es la metodología que usan para abordar con éxito la adaptación/personalización/extensión de un producto ya desarrollado.	Abierta
	Q21	¿Qué porcentaje de proyectos que desarrolla la empresa se hacen desde cero?	Entre el 0% y el 25% / Entre el 25% y el 50% / El 50% / Entre el 50% y el 75% / Entre el 75% y el 100%
Variabilidad de productos	Q22	Elaboramos documentación donde se detallan las especificaciones de las características de cada uno de sus productos	Siempre/ Con Frecuencia/ A veces/ Ocasionalmente/ Nunca
	Q23	Tenemos identificados productos o plataformas estrella propios de los cuáles se originan otros productos para otros clientes	Siempre/ Con Frecuencia/ A veces/ Ocasionalmente/ Nunca
	Q24	Cuando realizamos tareas de evolución o mantenimiento, surgen ideas de mejora a los productos ya desplegados en el mercado	Siempre/ Con Frecuencia/ A veces/ Ocasionalmente/ Nunca
	Q25	En su caso, ¿en qué formato almacenan dicha información sobre los productos y sus características?	Una hoja de cálculo/ Un documento de texto/ Formato web/ Usando un software específico (e.g. DOORs)/ Abierta
Análisis de los requisitos y variabilidad de los productos	Q26	Elaboramos una matriz o similar donde se detallan los requisitos comunes y variables de cada uno de los productos similares de la empresa	Siempre/ Con Frecuencia/ A veces/ Ocasionalmente/ Nunca
	Q27	Al realizar un producto nuevo, hacemos un análisis para determinar qué módulos/componentes son comunes con respecto a otros productos existentes, y por tanto reutilizables, y cuáles son diferentes o nuevos	Siempre/ Con Frecuencia/ A veces/ Ocasionalmente/ Nunca
	Q28	Elaboramos algún diagrama o documentación que nos permite describir la interrelación entre las características de cada producto que se desarrolla en la empresa	Siempre/ Con Frecuencia/ A veces/ Ocasionalmente/ Nunca
	Q29	La documentación donde recogemos los requisitos de un producto nuevo también incluye el análisis de las características de otros productos similares	Siempre/ Con Frecuencia/ A veces/ Ocasionalmente/ Nunca
Conocimiento sobre terminología de variabilidad	Q30	Líneas de producto software (Software product lines, SPLs)	Muy alto/ Alto/ Medio/ Bajo/ Muy Bajo
	Q31	Familias de producto software (Software Product Families)	Muy alto/ Alto/ Medio/ Bajo/ Muy Bajo
	Q32	Modelos de características (Feature Models, FMs)	Muy alto/ Alto/ Medio/ Bajo/ Muy Bajo
	Q33	Sistemas de alta variabilidad (Variability intensive systems)	Muy alto/ Alto/ Medio/ Bajo/ Muy Bajo

Tabla C.2: Secciones sobre la gestión del desarrollo

Bibliografía

- [63] M. M. Alam, A. I. Khan y A. Zafar. A comprehensive study of software product line frameworks. *International Journal of Computer Applications*, 151(3). 2016
- [64] C. Altamirano Martínez. *Método para la Incorporación de la Variabilidad en Procesos de Desarrollo de Software*. Tesis doctoral, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO. 2012
- [65] J. Anastas. Research design for social work and the human services. En *Research Design for Social Work and the Human Services*. Columbia University Press. 2000
- [66] C. Andersson y P. Runeson. A spiral process model for case studies on software quality monitoring—method and metrics. *Software Process: Improvement and Practice*, 12(2):125–140. 2007
- [67] A. A. Andrews y A. S. Pradhan. Ethical issues in empirical software engineering: the limits of policy. *Empirical Software Engineering*, 6(2): 105–110. 2001
- [68] M. Azanza, L. Montalvillo y O. Díaz. 20 years of industrial experience at splc: a systematic mapping study. En *Proceedings of the 25th ACM International Systems and Software Product Line Conference-Volume A*, páginas 172–183. 2021
- [69] M. A. Babar, L. Chen y F. Shull. Managing variability in software product lines. *IEEE Software*, 2010, 27(3):89–91, 94. May
- [70] F. Bachmann y P. C. Clements. Variability in software product lines. Informe técnico, CARNEGIE-MELLON UNIV PITTSBURGH PA SOFTWARE ENGINEERING INST. 2005
- [71] V. R. Basili, G. Caldiera y H. D. Rombach. Experience factory. *Encyclopedia of Software Eng.:* Vol, 1:469–476. 1994
- [72] V. R. Basili, R. W. Selby y D. H. Hutchens. Experimentation in software engineering. *IEEE Transactions on software engineering*, (7):733–743. 1986

- [73] V. R. Basili y D. M. Weiss. A methodology for collecting valid software engineering data. *IEEE Transactions on software engineering*, (6):728–738. 1984
- [74] V. R. Basili y M. V. Zelkowitz. Empirical studies to build a science of computer science. *Commun. ACM*, 50(11):33–37. 2007
- [75] J. F. Bastos, P. A. da Mota Silveira Neto, P. O’Leary, E. S. de Almeida y S. R. de Lemos Meira. Software product lines adoption in small organizations. *Journal of Systems and Software*, 131:112–128. 2017
- [76] P. Bazeley y K. Jackson. *Qualitative data analysis with NVivo*. Sage Publications Limited. 2013
- [77] D. Benavides, S. Segura y A. Ruiz-Cortés. Automated analysis of feature models 20 years later: A literature review. *Information Systems*, 35(6): 615–636. 2010
- [78] D. Benavides y J. A. Galindo. Variability management in an unaware software product line company: an experience report. En *The Eighth International Workshop on Variability Modelling of Software-intensive Systems, VaMoS ’14, Sophia Antipolis, France, January 22-24, 2014*, páginas 5:1–5:6. 2014
- [79] D. Benavides, P. Trinidad, A. R. Cortés y S. Segura. *FaMa*, capítulo FaMa, páginas 163–171. Springer Berlin Heidelberg. 2013
- [80] T. Berger, R. Rublack, D. Nair, J. M. Atlee, M. Becker, K. Czarnecki y A. Wasowski. A survey of variability modeling in industrial practice. En *The Seventh International Workshop on Variability Modelling of Software-intensive Systems, VaMoS ’13, Pisa , Italy, January 23 - 25, 2013*, páginas 7:1–7:8. 2013
- [81] T. Berger, J.-P. Steghöfer, T. Ziadi, J. Robin y J. Martinez. The State of Adoption and the Challenges of Systematic Variability Management in Industry. *Empirical Software Engineering*, 25. 2020
- [82] G. Böckle. *Software-Produktlinien: Methoden, Einführung und Praxis*. dpunkt-Verlag. 2004
- [83] G. Böckle, K. Pohl y F. v. d. Linden. A framework for software product line engineering. En *Software Product Line Engineering*, páginas 19–38. Springer. 2005
- [84] J. Bosch. *Design and use of software architectures: adopting and evolving a product-line approach*. Pearson Education. 2000

- [85] J. Bosch, G. Florijn, D. Greefhorst, J. Kuusela, J. H. Obbink y K. Pohl. Variability issues in software product lines. En *International Workshop on Software Product-Family Engineering*, páginas 13–21. Springer. 2001
- [86] P. Brereton, B. Kitchenham, D. Budgen y Z. Li. Using a protocol template for case study planning. En *12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE) 12*, páginas 1–8. 2008
- [87] A. Bröckers. Variability in standard software products. En *The Essence of Software Engineering*, páginas 91–105. Springer, Cham. 2018
- [88] R. B. Çalışkanbaş. Spl-cmm: software product line capability maturity model. Proyecto fin de carrera, Middle East Technical University. 2019
- [89] D. T. Campbell y J. C. Stanley. *Experimental and quasi-experimental designs for research*. Ravenio books. 2015
- [90] J. P. Campbell, R. L. Daft y C. L. Hulin. *What to study: generating and developing research questions*. Sage. 1982
- [91] R. Capilla, J. Bosch, K.-C. Kang y otros. Systems and software variability management. *Concepts Tools and Experiences*, 10:2517766. 2013
- [92] A. E. Chacón-Luna, E. G. Ruiz, J. A. Galindo y D. Benavides. Variability management in a software product line unaware company: Towards a real evaluation. En *Proceedings of the 23rd International Systems and Software Product Line Conference-Volume B*, páginas 82–89. 2019
- [93] A. E. Chacón Luna, J. Á. Galindo Duarte y D. F. Benavides Cuevas. Cómo gestionan la variabilidad las empresas que no conocen de líneas de producto software: hacia una evaluación real. *JISBD 2017: XXII Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos (2017)*. 2017
- [94] A. E. Chacón-Luna, A. M. Gutiérrez, J. A. Galindo y D. Benavides. Empirical software product line engineering: a systematic literature review. *Information and Software Technology*, 128:106389. 2020
- [95] J. Chavarriaga y J. A. Hurtado. Second international workshop on experiences and empirical studies on software reuse (WEESR 2019). En T. Berger, P. Collet, L. Duchien, T. Fogdal, P. Heymans, T. Kehrer, J. Martinez, R. Mazo, L. Montalvillo, C. Salinesi, X. Törnava, T. Thüm y T. Ziad, editores, *Proceedings of the 23rd International Systems and Software Product Line Conference, SPLC 2019, Volume A, Paris, France, September 9-13, 2019*, página 44:1. ACM. 2019

- [96] L. Chen y M. A. Babar. A systematic review of evaluation of variability management approaches in software product lines. *Information & Software Technology*, 53(4):344–362. 2011
- [97] M. Ciolkowski, O. Laitenberger, S. Vegas y S. Biffl. *Practical Experiences in the Design and Conduct of Surveys in Empirical Software Engineering*, páginas 104–128. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. 2003
- [98] P. Clements y J. McGregor. Better, faster, cheaper: Pick any three. *Business horizons*, 55(2):201–208. 2012
- [99] P. Clements y L. Northrop. *Software Product Lines: Practices and Patterns*. Addison-Wesley Professional. 2001
- [100] P. Clements y L. Northrop. *Software product lines*. Addison-Wesley, 2002
- [101] R. Conradi y B. Westfechtel. Version models for software configuration management. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 30(2):232–282. 1998
- [102] T. D. Cook, D. T. Campbell y A. Day. *Quasi-experimentation: Design & analysis issues for field settings*, volumen 351. Houghton Mifflin Boston. 1979
- [103] J. Coplien, D. Hoffman y D. Weiss. Commonality and variability in software engineering. *IEEE software*, 15(6):37–45. 1998
- [104] M. Cruz, B. Bernárdez, A. Durán, J. A. Galindo y A. Ruiz-Cortés. Replication of studies in empirical software engineering: A systematic mapping study, from 2013 to 2018. *IEEE Access*, 8:26773–26791. 2020
- [105] I. F. da Silva, P. A. da Mota Silveira Neto, P. O’Leary, E. S. de Almeida y S. R. de Lemos Meira. Software product line scoping and requirements engineering in a small and medium-sized enterprise: An industrial case study. *Journal of Systems and Software*, 88:189–206. 2014
- [106] G. Da Silveira, D. Borenstein y F. S. Fogliatto. Mass customization: Literature review and research directions. *International journal of production economics*, 72(1):1–13. 2001
- [107] S. M. Davis. Future perfect. En *Human resource management in international firms*, páginas 18–28. Springer. 1990
- [108] M. Demir, A. Bener, T. Kurt y E. Anarim. Application of software product line principles to multi-sector software development. En *SPLC Workshops*, páginas 267–268. 2010

- [109] O. Díaz, L. Montalvillo, R. Medeiros, M. Azanza y T. Fogdal. Visualizing the customization endeavor in product-based-evolving software product lines: a case of action design research. *Empirical Software Engineering*, 27(3):1–44. 2022
- [110] P. Donohoe. Introduction to software product lines. En *2011 15th International Software Product Line Conference*, 2011, páginas 350–350. Aug
- [111] T. Dybå, B. A. Kitchenham y M. Jørgensen. Evidence-based software engineering for practitioners. *IEEE Software*, 22(1):58–65. 2005
- [112] C. Ebert. Software product management. *IEEE Software*, 31(3):21–24. 2014
- [113] S. El-Sharkawy, N. Yamagishi-Eichler y K. Schmid. Metrics for analyzing variability and its implementation in software product lines: A systematic literature review. *Information & Software Technology*, 106:1–30. 2019
- [114] M. Eriksson, J. Börstler y K. Borg. The pluss approach—domain modeling with features, use cases and use case realizations. En *International Conference on Software Product Lines*, páginas 33–44. Springer. 2005
- [115] P. Espinel. Uso del paradigma de línea de productos de software (spl) en aplicaciones móviles sensibles al contexto use the paradigm of software product line (spl) in mobile context-aware applications. *Latacunga, Ecuador*, página 50. 2016
- [116] J. Feigenspan, M. Schulze, M. Papendieck, C. Kästner, R. Dachsel, V. Köppen y M. Frisch. Using background colors to support program comprehension in software product lines. En *15th Annual Conference on Evaluation Assessment in Software Engineering (EASE 2011)*, páginas 66–75. 2011
- [117] N. Fenton y J. Bieman. *Software metrics: a rigorous and practical approach*. CRC press. 2014
- [118] A. Fink. *The Survey Handbook*. SAGE Publications. 2003
- [119] B. B. Flynn, S. Sakakibara, R. G. Schroeder, K. A. Bates y E. J. Flynn. Empirical research methods in operations management. *Journal of operations management*, 9(2):250–284. 1990
- [120] B. Flyvbjerg. Five misunderstandings about case-study research. *Qualitative inquiry*, 12(2):219–245. 2006

- [121] T. Fraser, L. Badger y M. Feldman. Hardening cots software with generic software wrappers. En *Proceedings DARPA Information Survivability Conference and Exposition. DISCEX'00*, volumen 2, páginas 323–337. IEEE. 2000
- [122] J. A. Galindo, D. Benavides, P. Trinidad, A.-M. Gutiérrez-Fernández y A. Ruiz-Cortés. Automated analysis of feature models: Quo vadis? *Computing*, páginas 1–47. 2018
- [123] M. L. Griss, J. Favaro y M. d'Alessandro. Integrating feature modeling with the rseb. En *Proceedings. Fifth International Conference on Software Reuse (Cat. No. 98TB100203)*, páginas 76–85. IEEE. 1998
- [124] I. Habli, T. Kelly y I. Hopkins. Challenges of establishing a software product line for an aerospace engine monitoring system. En *11th International Software Product Line Conference (SPLC 2007)*, páginas 193–202. IEEE. 2007
- [125] H. S. Hamza, J. Martinez y C. Alonso. Introducing product line architectures in the erp industry: Challenges and lessons learned. En *SPLC Workshops*, páginas 263–266. 2010
- [126] J. E. Hannay, D. I. Sjoberg y T. Dyba. A systematic review of theory use in software engineering experiments. *IEEE transactions on Software Engineering*, 33(2):87–107. 2007
- [127] A. Helferich, K. Schmid y G. Herzwurm. Product management for software product lines: an unsolved problem? *Communications of the ACM*, 49(12):66–67. 2006
- [128] T. Iwasaki, M. Uchiba, J. Otsuka, K. Hachiya, T. Nakanishi, K. Hisazumi y A. Fukuda. An experience report of introducing product line engineering across the board. En *SPLC Workshops*, páginas 255–258. 2010
- [129] A. Jedlitschka y D. Pfahl. Reporting guidelines for controlled experiments in software engineering. En *2005 International Symposium on Empirical Software Engineering, 2005.*, páginas 10–pp. IEEE. 2005
- [130] P. M. Johnson, H. Kou, M. Paulding, Q. Zhang, A. Kagawa y T. Yamashita. Improving software development management through software project telemetry. *IEEE software*, 22(4):76–85. 2005
- [131] N. Juristo y S. Vegas. The role of non-exact replications in software engineering experiments. *Empirical Software Engineering*, 16(3):295–324. 2011

- [132] K. C. Kang, S. G. Cohen, J. A. Hess, W. E. Novak y A. S. Peterson. Feature-oriented domain analysis (foda) feasibility study. Informe técnico, Carnegie-Mellon Univ Pittsburgh Pa Software Engineering Inst. 1990
- [133] K. C. Kang, S. Kim, J. Lee, K. Kim, E. Shin y M. Huh. Form: A feature-oriented reuse method with domain-specific reference architectures. *Annals of software engineering*, 5(1):143–168. 1998
- [134] S. Keele y otros. Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. Informe técnico, Technical report, Ver. 2.3 EBSE Technical Report. EBSE. 2007
- [135] M. Khurum y T. Gorschek. A systematic review of domain analysis solutions for product lines. *Journal of Systems and Software*, 82(12):1982–2003. 2009
- [136] B. Kitchenham. Procedures for performing systematic reviews. *Keele, UK, Keele University*, 33(2004):1–26. 2004
- [137] B. Kitchenham, H. Al-Khilidar, M. A. Babar, M. Berry, K. Cox, J. Keung, F. Kurniawati, M. Staples, H. Zhang y L. Zhu. Evaluating guidelines for reporting empirical software engineering studies. *Empirical Software Engineering*, 13(1):97–121. 2008
- [138] B. Kitchenham, O. P. Brereton, D. Budgen, M. Turner, J. Bailey y S. Linkman. Systematic literature reviews in software engineering—a systematic literature review. *Information and software technology*, 51(1):7–15. 2009
- [139] B. Kitchenham y S. Charters. Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. 2007
- [140] B. Kitchenham y S. L. Pfleeger. Principles of survey research part 4: questionnaire evaluation. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 2002, 27(3):20–23.
- [141] B. Kitchenham y S. L. Pfleeger. Principles of survey research: part 5: populations and samples. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 2002, 27(5):17–20.
- [142] B. Kitchenham y S. L. Pfleeger. Principles of survey research part 6: data analysis. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 28(2):24–27. 2003

- [143] B. A. Kitchenham, T. Dyba y M. Jorgensen. Evidence-based software engineering. En *Proceedings. 26th International Conference on Software Engineering*, páginas 273–281. IEEE. 2004
- [144] B. A. Kitchenham, R. T. Hughes y S. G. Linkman. Modeling software measurement data. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 27(9): 788–804. 2001
- [145] B. A. Kitchenham y S. L. Pfleeger. Personal opinion surveys. En *Guide to advanced empirical software engineering*, páginas 63–92. Springer. 2008
- [146] B. A. Kitchenham y S. L. Pfleeger. Principles of survey research part 2: designing a survey. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 2002, 27(1):18–20.
- [147] B. A. Kitchenham y S. L. Pfleeger. Principles of survey research: part 3: constructing a survey instrument. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 2002, 27(2):20–24.
- [148] B. A. Kitchenham, S. L. Pfleeger, L. M. Pickard, P. W. Jones, D. C. Hoaglin, K. El Emam y J. Rosenberg. Preliminary guidelines for empirical research in software engineering. *IEEE Transactions on software engineering*, 28(8):721–734. 2002
- [149] B. A. Kitchenham, D. Budgen y P. Brereton. *Evidence-based software engineering and systematic reviews*, volumen 4. CRC press. 2015
- [150] J. Kontio, J. Bragge y L. Lehtola. The focus group method as an empirical tool in software engineering. En *Guide to advanced empirical software engineering*, páginas 93–116. Springer. 2008
- [151] M. A. Laguna y Y. Crespo. A systematic mapping study on software product line evolution: From legacy system reengineering to product line refactoring. *Sci. Comput. Program.*, 78(8):1010–1034. 2013
- [152] A. S. Lee. A scientific methodology for mis case studies. *MIS quarterly*, páginas 33–50. 1989
- [153] T. C. Lethbridge, S. E. Sim y J. Singer. Studying software engineers: Data collection techniques for software field studies. *Empirical software engineering*, 10(3):311–341. 2005
- [154] D. Li. A robust-reference-architecture-centric approach for high availability sple in security inspection domain. En *SPLC Workshops*, páginas 259–262. 2010

- [155] J. K. Liker y J. Morgan. Lean product development as a system: a case study of body and stamping development at ford. *Engineering Management Journal*, 23(1):16–28. 2011
- [156] F. v. d. Linden, J. Bosch, E. Kamsties, K. Känsälä y H. Obbink. Software product family evaluation. En *International Conference on Software Product Lines*, páginas 110–129. Springer. 2004
- [157] D. Lucrédio, K. dos Santos Brito, A. Alvaro, V. C. Garcia, E. S. de Almeida, R. P. de Mattos Fortes y S. L. Meira. Software reuse: The brazilian industry scenario. *Journal of Systems and Software*, 81(6):996–1013. 2008
- [158] C. Marimuthu y K. Chandrasekaran. Systematic studies in software product lines: A tertiary study. En *Proceedings of the 21st International Systems and Software Product Line Conference, SPLC 2017, Volume A, Sevilla, Spain, September 25-29, 2017*, páginas 143–152. 2017
- [159] M. Marques, J. Simmonds, P. O. Rossel y M. C. Bastarrica. Software product line evolution: A systematic literature review. *Information & Software Technology*, 105:190–208. 2019
- [160] J. Martinez, W. K. Assunção y T. Ziadi. ESPLA: A catalog of Extractive SPL Adoption case studies. En *Proceedings of the 21st International Systems and Software Product Line Conference-Volume B*, páginas 38–41. 2017
- [161] I. P. McCarthy. Special issue editorial: the what, why and how of mass customization. *Production Planning & Control*, 15(4):347–351. 2004
- [162] M. H. Meyer y A. P. Lehnerd. *The power of product platforms*. Simon and Schuster. 1997
- [163] M. B. Miles y A. M. Huberman. *Qualitative data analysis: An expanded sourcebook*. SAGE Publications, inc. 1994
- [164] J. Miller. Statistical significance testing—a panacea for software technology experiments? *Journal of Systems and Software*, 73(2):183–192. 2004
- [165] L. Northrop, P. Clements, F. Bachmann, J. Bergey, G. Chastek, S. Cohen, P. Donohoe, L. Jones, R. Krut, R. Little y otros. A framework for software product line practice, version 5.0. *SEI.-2007-<http://www.sei.cmu.edu/productlines/index.html>*. 2007
- [166] A. N. Oppenheim. *Questionnaire design, interviewing and attitude measurement*. Bloomsbury Publishing. 2000

- [167] M. Q. Patton. *Qualitative evaluation and research methods*. SAGE Publications, inc. 1990
- [168] K. Petersen, R. Feldt, S. Mujtaba y M. Mattsson. Systematic mapping studies in software engineering. En *12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE) 12*, páginas 1–10. 2008
- [169] S. L. Pfleeger. Experimental design and analysis in software engineering. *Annals of Software Engineering*, 1(1):219–253. 1995
- [170] S. L. Pfleeger y B. A. Kitchenham. Principles of survey research: part 1: turning lemons into lemonade. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 26(6):16–18. 2001
- [171] L. M. Pickard, B. A. Kitchenham y P. W. Jones. Combining empirical results in software engineering. *Information and software technology*, 40(14):811–821. 1998
- [172] K. Pohl, G. Böckle y F. Van Der Linden. *Software product line engineering: foundations, principles, and techniques*, volumen 1. Springer. 2005
- [173] M. Raatikainen, J. Tiihonen y T. Männistö. Software product lines and variability modeling: A tertiary study. *Journal of Systems and Software*, 149:485–510. 2019
- [174] R. Rabiser, K. Schmid, M. Becker, G. Botterweck, M. Galster, I. Groher y D. Weyns. A study and comparison of industrial vs. academic software product line research published at SPLC. En *Proceedings of the 22nd International Systems and Software Product Line Conference - Volume 1, SPLC 2018, Gothenburg, Sweden, September 10-14, 2018*, páginas 14–24. 2018
- [175] L. Rincón, R. Mazo y C. Salinesi. Applies: A framework for evaluating organization’s motivation and preparation for adopting product lines. En *2018 12th International Conference on Research Challenges in Information Science (RCIS)*, páginas 1–12. IEEE. 2018
- [176] H. Robinson, J. Segal y H. Sharp. Ethnographically-informed empirical studies of software practice. *Information and Software Technology*, 49(6):540–551. 2007
- [177] C. Robson. *Real world research: A resource for social scientists and practitioner-researchers*. Wiley-Blackwell. 2002

- [178] F. E. Ruiz, editor. *Actas de las XXII Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos (JISBD 2017)*. 2017
- [179] P. Runeson y M. Höst. Guidelines for conducting and reporting case study research in software engineering. *Empirical Software Engineering*, 14(2):131–164. 2009
- [180] P. Runeson, M. Höst, A. Rainer y B. Regnell. Case study research in software engineering. En *Guidelines and examples*. Wiley Online Library. 2012
- [181] A. Saini y S. Rajkumar. Software product line configurations generation using different types of tools—a comparison. 2017
- [182] P. Salant, I. Dillman y A. Don. *How to conduct your own survey*. Número 300.723 S3. 1994
- [183] H. Schackmann y H. Lichter. A cost-based approach to software product line management. En *2006 International Workshop on Software Product Management (IWSPM'06-RE'06 Workshop)*, páginas 13–18. IEEE. 2006
- [184] K. Schmid y M. Verlage. The economic impact of product line adoption and evolution. *IEEE software*, 19(4):50–57. 2002
- [185] C. B. Seaman. Qualitative methods in empirical studies of software engineering. *IEEE Transactions on software engineering*, 25(4):557–572. 1999
- [186] C. Seaman. Qualitative methods. *guide to advanced empirical software engineering*: 35–62. 2008
- [187] S. Sethumadhavan, F. Roesner, J. S. Emer, D. Burger y S. W. Keckler. Late-binding: Enabling unordered load-store queues. *ACM SIGARCH Computer Architecture News*, 35(2):347–357. 2007
- [188] G. Shanks y otros. Guidelines for conducting positivist case study research in information systems. *Australasian Journal of Information Systems*, 10(1). 2002
- [189] F. Shull, J. Singer y D. I. Sjøberg. *Guide to advanced empirical software engineering*. Springer. 2007
- [190] D. I. Sjøberg, T. Dybå, B. C. Anda y J. E. Hannay. Building theories in software engineering. En *Guide to advanced empirical software engineering*, páginas 312–336. Springer. 2008

- [191] D. I. Sjøberg, J. E. Hannay, O. Hansen, V. B. Kampenes, A. Karahasano-
vic, N.-K. Liborg y A. C. Rekdal. A survey of controlled experiments in
software engineering. *IEEE transactions on software engineering*, 31(9):
733–753. 2005
- [192] I. Stamelos, L. Angelis, M. Morisio, E. Sakellaris y G. L. Bleris. Estima-
ting the development cost of custom software. *Information & Manage-
ment*, 40(8):729–741. 2003
- [193] A. Strauss y J. Corbin. *Basics of qualitative research*. Sage publications.
1990
- [194] B. Stroustrup. What is object-oriented programming? *IEEE software*, 5
(3):10–20. 1988
- [195] M. Svahnberg, J. Van Gurp y J. Bosch. A taxonomy of variability realiza-
tion techniques. *Software: Practice and experience*, 35(8):705–754. 2005
- [196] C. Szyperski. Component technology-what, where, and how? En *25th
International Conference on Software Engineering, 2003. Proceedings.*,
páginas 684–693. IEEE. 2003
- [197] E. Tacconelli. Systematic reviews: Crd’s guidance for undertaking re-
views in health care. *The Lancet Infectious Diseases*, 10(4):226. 2010
- [198] C. P. Team. Capability maturity model® integration (cmmi sm), ver-
sion 1.1. *CMMI for systems engineering, software engineering, integra-
ted product and process development, and supplier sourcing (CMMI-
SE/SW/IPPD/SS, V1. 1)*, 2. 2002
- [199] T. Thüm, S. Apel, C. Kästner, I. Schaefer y G. Saake. A classification and
survey of analysis strategies for software product lines. *ACM Comput-
ing Surveys (CSUR)*, 47(1):1–45. 2014
- [200] W. F. Tichy. Should computer scientists experiment more? *IEEE Com-
puter*, 31(5):32–40. 1998
- [201] F. Van der Linden. Software product families in europe: the esaps & cafe
projects. *IEEE software*, 19(4):41–49. 2002
- [202] F. J. Van der Linden, K. Schmid y E. Rommes. *Software product lines in
action: the best industrial practice in product line engineering*. Springer
Science & Business Media. 2007

- [203] J. Van Gurp, J. Bosch y M. Svahnberg. On the notion of variability in software product lines. En *Proceedings Working IEEE/IFIP Conference on Software Architecture*, páginas 45–54. IEEE. 2001
- [204] R. Van Solingen y E. W. Berghout. *The Goal/Question/Metric Method: a practical guide for quality improvement of software development*. McGraw-Hill. 1999
- [205] M. G. P. Velthuis. *Fábricas de software: experiencias, tecnologías y organización*. Grupo Editorial RA-MA. 2007
- [206] J. M. Verner, J. Sampson, V. Tasic, N. A. Bakar y B. A. Kitchenham. Guidelines for industrially-based multiple case studies in software engineering. En *2009 Third International Conference on Research Challenges in Information Science*, páginas 313–324. IEEE. 2009
- [207] H. Wee y S. Wu. Lean supply chain and its effect on product cost and quality: a case study on ford motor company. *Supply Chain Management: An International Journal*. 2009
- [208] D. M. Weiss y C. T. R. Lai. *Software product-line engineering: a family-based software development process*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc. 1999
- [209] C. Wohlin, M. Höst y K. Henningsson. Empirical research methods in software engineering. En *Empirical Methods and Studies in Software Engineering, Experiences from ESERNET*, páginas 7–23. 2003
- [210] C. Wohlin, P. Runeson, M. Höst, M. C. Ohlsson, B. Regnell y A. Wesslén. *Experimentation in software engineering*. Springer Science & Business Media. 2012
- [211] R. K. Yin. *Case study research: Design and methods*, volumen 5. sage. 2009
- [212] R. K. Yin. *Case study research and applications: Design and methods*. Sage publications. 2017
- [213] M. V. Zelkowitz y D. R. Wallace. Experimental models for validating technology. *IEEE Computer*, 31(5):23–31. 1998
- [214] P. Zipkin. The limits of mass customization. *MIT Sloan management review*, 42(3):81. 2001

This document was typeset on 2022/6/28 using $\mathcal{R}\mathcal{C}\text{-}\mathcal{B}\mathcal{O}\mathcal{K}$ $\alpha 2.11$ for $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}_{2\epsilon}$.
Should you want to use this document class, please send mail to
contact@tdg-seville.info.