

Software Configuration Management in Software Product Lines: Results of a Systematic Mapping Study

G. P. Espinel-Mena, J. L. Carrillo-Medina, M. Flores-Calero and M. Urbietta

Abstract—Software product lines (SPL) are used in industry to achieve more efficient software development. However, efficient configuration management system is crucial for the success of any SPL. Very few approaches are found on software configuration management (SCM) in SPL. This study aims at surveying existing research on SCM in SPL in order to identify useful approaches and needs for future research. A systematic mapping study was conducted to find as much literature as possible between 2010-2020, and the twenty three papers found were classified according to context, research and contribution type. Most research effort is spent on product variability (87%) with contributions such as proposed tools and models (70%), sketched out in detail but not yet evaluated, i.e. solution proposals (63.33%). According to the results found, more validation and evaluation research of the SCM is needed to provide a better foundation for SPL.

Index Terms— Software configuration management, Software product line, SPL, Systematic mapping study.

I. INTRODUCTION

Línea de productos software (LPS) es un paradigma que se está consolidando en ciertas áreas específicas de la producción de software, caracterizada por la reutilización planificada de componentes (core assets) en combinación con características específicas (features) para generar productos software [1-4]. La LPS se utiliza en el desarrollo de software de dominios específicos como el financiero, académico, comunicaciones, entre otros. Esto permite reducir los costos y el tiempo de desarrollo y mantenimiento de sistemas cada vez más complejos, así como satisfacer las demandas de productos personalizados [5-8].

El proceso de la LPS incluye las actividades de: (a) *ingeniería de dominio*, (b) *ingeniería de aplicación* y (c) *gestión de configuración*. En la ingeniería de dominio se crean los core assets, que son la base a partir de la cual se puede desarrollar un producto específico [2]. En la ingeniería de aplicación tiene lugar la instanciación de productos de la línea [2]. Un concepto central para la ingeniería de dominio y aplicación es la Gestión de Configuración de Software (GCS),

la cual se encarga de manejar la variabilidad de los core assets y los productos de la LPS [9]. Esta última actividad se vuelve aún más compleja a medida que aumenta el número de combinaciones entre core assets y features [10].

El proceso de las LPS ha permitido crear un catálogo de productos estrechamente relacionados con variaciones de características y funcionalidades, en lugar de un único producto. Esto ha provocado la aparición de métodos, herramientas y técnicas de desarrollo de software, para lograr una mejor comprensión y conocimiento del desarrollo de las líneas de productos de software [11]. Algunos de estos son el resultado de la experiencia y no de la aplicación del método científico [12].

Este artículo presenta un Estudio de Mapeo Sistemático basado en el trabajo de investigación “Gestión de Configuración de Software del Paradigma de Línea de Productos Software: Un Estudio de Mapeo Sistemático” propuesto por Espinel y otros [13], cuyo objetivo era buscar, analizar, y seleccionar artículos sobre la Gestión de Productos de Software para la LPS. Los resultados obtenidos en este estudio muestran la poca información existente sobre los enfoques para la Gestión de Productos de la LPS. Se encontraron dos enfoques: i) la Gestión de la variabilidad y ii) la Evolución de productos. Del análisis de los trabajos identificados se evidencia que estas son investigaciones aisladas y que al parecer no proporcionan una solución integral para la Gestión de Productos de la LPS. Por esta razón, se propone ampliar el trabajo de Espinel mediante un nuevo Estudio de Mapeo Sistemático a través de la refinación de la cadena de búsqueda y obtener más investigaciones relevantes relacionadas con el objeto de estudio. Con la aplicación de diferentes técnicas de síntesis se pretende encontrar nuevos patrones y categorizar de mejor manera la Gestión de Productos de Software de la LPS.

Se plantearon dos preguntas de investigación las cuales permiten establecer un esquema de clasificación basado en tres facetas: “Contexto de Investigación”, “Tipo de Investigación” y “Tipo de Contribución”. Las facetas tipo de investigación y tipo de contribución se incluyeron en el estudio actual. En la faceta contexto de investigación se identificaron tres categorías: i) variabilidad de productos [2], [14], [15], ii) evolución de la LPS [16-18], y iii) derivación de productos [19-21]. Las dos primeras fueron identificadas en [13] y la última es una nueva categoría. En cuanto a los tipos de investigación se basaron en el esquema propuesto por

G. P. Espinel-Mena, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador, gpespinel@espe.edu.ec.

J. L. Carrillo-Medina, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador, jlcarrillo@espe.edu.ec.

M. Flores-Calero, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador, mjflores@espe.edu.ec.

M. M. Urbietta, Universidad Nacional de la Plata, Argentina, murbieta@lifia.info.unlp.edu.ar.

Wieringa y otros [22]: investigación de validación, investigación de evaluación, propuesta de solución, artículos filosóficos, artículos de opinión y artículos de experiencias. Por último, el tipo de contribución se clasificó en cinco categorías: proceso, método, modelo, herramienta y técnica.

Los resultados obtenidos de este mapeo sistemático permiten determinar las áreas cubiertas por los artículos publicados durante el período 2010-2020. Específicamente, estos permiten: 1) ampliar el análisis y la clasificación de la literatura científica en el campo de la GCS en las LPS, 2) definir las áreas del contexto de la GCS, 3) describir los tipos de investigación que se han llevado a cabo, por último, 4) determinar los tipos de contribuciones que se han realizado.

El contenido de este artículo se encuentra organizado de la siguiente manera. La sección II describe los trabajos relacionados. Las preguntas de investigación y el método de revisión de la literatura se definen en la sección III. La sección IV detalla el proceso de ejecución del mapeo sistemático. El análisis de resultados se detalla en la sección V. En la sección VI se discuten los aspectos relevantes de los artículos localizados y seleccionados. Las situaciones que amenazan la validez del estudio de mapeo se presentan en la sección VII. Finalmente, las conclusiones se exponen en la sección VIII.

II. TRABAJOS RELACIONADOS

La literatura sobre LPS proporciona un gran número de estudios, algunos de estos trabajos tienen por objetivo analizar y evaluar la evidencia sobre este tema, para ello, se han identificado Estudios de Mapeos Sistemáticos (EMS) [23], [24] y Revisiones Sistemáticas de la Literatura (RSL) [25], [26], como, por ejemplo:

Guedes y otros [27] llevaron a cabo un EMS en el ámbito de la Gestión de la Variabilidad (GV) en Líneas de Productos Software Dinámicas (LPSD), los resultados del mapeo identifican principalmente la tendencia de la investigación sobre cómo las interacciones entre los requisitos no funcionales y los contextos afectan la configuración de la variabilidad.

Pereira y otros [28] presentan y discuten los hallazgos de una RSL de las herramientas de gestión de la LPS, como resultado directo de esta revisión, se identifican vacíos, como la falta de apoyo industrial durante la configuración de productos.

Da Silva y otros [10] presentan los resultados de una RSL sobre los aspectos dinámicos de la derivación de productos en la LPSD, concluyendo que, debido a la falta de madurez en el campo de la derivación dinámica, existen muchas oportunidades abiertas de investigación aún disponibles.

Chen y Babar [12] realizaron una RSL para evaluar los enfoques de la GV en la Ingeniería de Línea de Productos Software (ILPS), indicando que la gran mayoría de los enfoques reportados no han sido suficientemente evaluados usando métodos científicos, y que las investigaciones posteriores necesitan prestar más atención a los contextos bajo los cuales los diferentes enfoques pueden ser más beneficiosos.

Engström y Runeson [29] pusieron en marcha un EMS para

tener una visión clara de las necesidades y los desafíos de las pruebas en la LPS, determinando que se requiere más investigación de validación y evaluación para proporcionar una base sólida para las pruebas de la LPS.

Neto y otros [30] condujeron un EMS en el campo de las pruebas de la LPS, cuyos resultados pueden ayudar a entender las necesidades de las pruebas en la LPS, a través de la identificación de puntos que aún requieren investigación adicional, ya que todavía no se han abordado aspectos importantes relacionados con puntos particulares de las LPS.

Mujtaba y otros [31] realizaron un estudio donde se utilizó un método sistemático para desarrollar un mapa de la variabilidad de la LPS, que identifica una relativa falta de investigación sobre cómo soportar la variabilidad de la LPS en la implementación y la gestión, así como la forma de verificarla y validarla.

Un análisis crítico de estos estudios permitió encontrar información relevante sobre la LPS, sin embargo, aspectos importantes como las categorías de la GCS, tales como, la gestión de variabilidad y la evolución del software, no están cubiertas completamente, tampoco se evidencia información sobre otras, ni se describen los tipos de investigación o los tipos de contribución que se han realizado en la GCS para la LPS. Por lo que se hace necesario llevar a cabo un estudio de mapeo del estado actual de la GCS. Cabe notar, que estos estudios se pueden calificar como fuentes primarias de información sobre la temática, mismos que servirán de base para encontrar estudios relevantes del objeto de estudio, para lograr este objetivo se siguieran los lineamientos para el desarrollo de estudios de mapeo presentados en [23], [24], [32-37].

III. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN Y METODOLOGÍA

El alcance de este estudio se centra desde el año 2010 hasta el 2020, donde la comunidad investigadora enfatiza actividades referentes al campo de la GCS en las LPS. La Pregunta de Investigación principal (PI) es: *¿Qué estudios existen sobre la gestión de configuración de software en líneas de productos software?* Para lograr este objetivo, esta interrogante se divide en dos preguntas de investigación:

- 1) PI1: *¿Qué áreas de la gestión de configuración de software en las líneas de productos software se han abordado y cuántos artículos cubren las diferentes áreas?*
- 2) PI2: *¿Qué tipos de investigación se han llevado a cabo y qué tipos de contribuciones se han realizado en las diferentes áreas de la GCS en las LPS?*

La PI que se plantea en este estudio busca localizar artículos sobre la GCS en las LPS. El EMS incluye las fases de planificación y ejecución para proporcionar una visión general del área de investigación, e identificar la cantidad y el tipo de investigación y los resultados disponibles en ella. Según Petersen y otros en [23] y [33], las etapas metodológicas para llevar a cabo un mapeo sistemático de la literatura son: la definición de la pregunta de investigación, la realización de la búsqueda, la selección de artículos, el uso de palabras claves en los resúmenes, y la extracción de datos y el proceso de mapeo. En cada una de estas etapas se producen ciertos

resultados y al final del proceso se obtiene el mapa de los artículos relacionados con el área de estudio. Además, la ejecución de estos pasos requiere el uso de recursos humanos, materiales, técnicos, etc. Los recursos utilizados para la búsqueda de estudios relevantes incluyen un conjunto de reglas, actividades, elementos e instrumentos que formalizan y dan soporte al proceso de mapeo sistemático.

El método utilizado para desarrollar este mapeo sistemático de la literatura se basa en los lineamientos establecidos en las contribuciones de Petersen y otros [23]. El proceso de investigación consta de siete etapas: 1) selección de fuentes de artículos, 2) definición de la cadena de búsqueda, 3) definición de los criterios de inclusión y exclusión, 4) preselección de artículos, 5) selección de artículos, 6) extracción de datos, y, por último, 7) mapeo de estudios. La Fig. 1 representa el proceso de investigación que comprende cada fase y su secuencia de etapas.

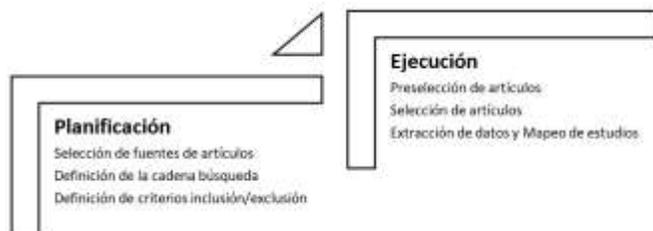


Fig. 1. Resumen del proceso de investigación.

Para la *selección de fuentes de artículos* se establece un conjunto de reglas para garantizar la calidad y cantidad de los estudios. En la etapa de *definición de cadenas de búsqueda* se construyen y prueban las cadenas de búsqueda que se utilizarán para encontrar los estudios primarios. Es vital que los términos principales de una cadena de búsqueda se determinen a partir del área temática que se está estudiando. En la *definición de los criterios de inclusión y exclusión* se establecen un conjunto de criterios que se usarán en la ejecución de la búsqueda para la preselección y selección de artículos. En la *preselección de artículos* se procede a la lectura de algunas secciones del documento a fin de identificar en el texto los términos de la cadena de búsqueda. En la *selección de artículos* se realiza una lectura completa del artículo donde se busca evidenciar la aplicación de los términos de la cadena de búsqueda. En la *extracción de datos*, los formularios están diseñados para registrar con precisión la información obtenida de los estudios primarios seleccionados. En el *mapeo de estudios* se desarrolla el esquema de clasificación y se reportan los resultados de la extracción de datos.

IV. IMPLEMENTACIÓN DEL MAPEO SISTEMÁTICO

En esta sección se describe las etapas de cada una de las fases del proceso de investigación con mayor detalle.

A. Fase de Planificación

Esta subsección describe las etapas para identificar las fuentes de artículos, la cadena de búsqueda y los criterios de inclusión/exclusión, que permitirán obtener los artículos

relevantes al objeto de estudio, la “Gestión de Configuración de Software en Líneas de Productos Software”.

Para la *selección de fuentes de artículos* se utilizó los motores de búsqueda de las librerías digitales más importantes en el área de la Ingeniería de Software (IS) [38]. Se considera el uso principalmente de la Base de Datos Indexada Scopus¹, así como también, se utilizaron otros recursos de búsqueda complementarios como son las Bibliotecas Digitales IEEE² y ACM³ [39-41], ya que Scopus sólo incluye artículos parciales de algunas conferencias que son relevantes para este estudio.

En la *definición de las cadenas de búsqueda* las palabras claves de la cadena de búsqueda se extrajeron de la PI y se utilizaron para buscar las fuentes principales del estudio. La cadena de búsqueda utilizada se construyó empleando la estrategia propuesta por Chen y Babar [12]. Las palabras claves fueron verificadas preliminarmente en todos los estudios relevantes ya conocidos [10], [12], [13], [27], [28], [29-31]. La cadena de búsqueda utilizada para identificar la literatura para el estudio de mapeo se definió a través de qué *población* de artículos nos interesa y la *intervención* pertinente. La población comprende el dominio de software, las líneas de productos, las familias de productos y las familias de sistemas. La intervención se refiere a la gestión de la configuración y la gestión de la variabilidad en las líneas de productos. La Tabla I muestra la lista de todos los términos de búsqueda utilizados.

Siguiendo esta estrategia y después de una serie de

TABLA I
LISTA DE TÉRMINOS PARA BÚSQUEDA DE ESTUDIOS

Criterio	Palabra Clave	Sinónimo/Término Relacionado
Población	software	software
Población	product line	product-line, product line, product family, product-family, product lines, product families, system family, system families, SPL
Intervención	configuration management	configuration management, variability management, variation management

ejecuciones de prueba y revisiones, se construyó la siguiente cadena de búsqueda:

Cadena: "software" AND ("product-line" OR "product line" OR "product family" OR "product-family" OR "product lines" OR "product families" OR "system family" OR "system families" OR "SPL") AND ("configuration management" OR "variability management" OR "variation management")

En cuanto a los *criterios de inclusión/exclusión* sólo están relacionados con la presencia o no del tema de investigación en el artículo, por lo tanto, para su definición se utiliza la PI propuesta, estableciéndose los siguientes criterios:

- Inclusión: Estudios en idioma inglés, Estudios que están relacionados con el objeto de investigación, Estudios de texto completo.

- Exclusión: Estudios duplicados, Estudios de revisión, Libros o capítulos de libros.

Estos criterios son aplicados durante la ejecución de la búsqueda para la preselección y selección de estudios. Para evaluar la fiabilidad de los criterios e incrementar las posibilidades de obtener resultados confiables e independientes del evaluador, se utilizó el índice propuesto por Cohen denominado Índice Kappa [42].

B. Fase de Ejecución

Esta subsección implementa las etapas previamente planificadas para identificar, preseleccionar, seleccionar y categorizar un conjunto de estudios primarios sobre la temática "Gestión de Configuración de Software en Líneas de Productos Software".

La ejecución comienza con la aplicación de la cadena de búsqueda (Cadena) en las bases de datos digitales IEEE Xplore, Scopus y ACM, que entregó los siguientes resultados: 173 artículos en IEEE Xplore, 168 en Scopus, y 68 en ACM, dando un total 409 artículos (ver Tabla II, estudios localizados).

TABLA II
ESTUDIOS LOCALIZADOS Y PRESELECCIONADOS

Cadena de Búsqueda	Motor	Estudios Localizados	Estudios Preseleccionados	Precisión
	IEEE	173	6 [27], [52-56]	3.47%
Cadena	Scopus	168	27 [12], [13], [57-81]	16.07%
	ACM	68	22 [82-103]	32.35%
	Total	409	55	

Para la *preselección de estudios* se aplicaron los criterios de inclusión/exclusión, en las secciones: título del artículo, resumen y palabras claves, con el fin de identificar los artículos que están relacionados con el objeto de estudio. En los casos en que el resumen no proporcione la información necesaria para determinar que se trata de una preselección, se lee la sección introducción del artículo. Los resultados obtenidos fueron: 6 estudios de IEEE Xplore, 27 de Scopus y 22 de ACM, dando un total de 55 artículos preseleccionados (ver Tabla II, estudios preseleccionados). Además, se calculó la precisión de la búsqueda determinada por la relación entre el número de estudios preseleccionados y localizados, el 3.47% corresponde a IEEE Xplore, el 16.07% a Scopus, mientras que el 32.35% a ACM.

Para evaluar la fiabilidad de los criterios de inclusión/exclusión de estudios primarios, y por lo tanto incrementar las posibilidades de obtener resultados confiables e independientes del evaluador, se seleccionó el 100% de la población total de los resultados arrojados por los buscadores, 409 artículos. Tras el establecimiento de los criterios de selección, cada revisor (E1 y E2) los aplicó de forma independiente a cada artículo, basándose únicamente en el título, el resumen y las palabras claves. La Fuerza de la concordancia obtenida estadísticamente fue Muy buena (Índice

Kappa = 0.853), la Tabla III muestra el conjunto de datos utilizados para calcular la fiabilidad y concordancia entre los evaluadores [42]. Este valor indica la existencia de una base de criterios suficientemente clara que no denota divergencias significativas entre los dos evaluadores [46].

TABLA III
DATOS UTILIZADOS PARA CALCULAR LA FIABILIDAD INTER-EVALUADOR

		E1		Total
		Si	No	
E2	Si	48	7	55
	No	7	347	354
Total		55	354	409

En la *selección de artículos* relevantes se aplicó el criterio de inclusión lectura de texto completo para incorporar los estudios que evidencien la adopción de enfoques de GCS en al menos una LPS. De los 55 artículos preseleccionados fueron excluidos 32, dando un total de 23 artículos seleccionados.

Una vez definidos los estudios relevantes se realiza la *extracción de datos* para recopilar la información necesaria que permita responder las preguntas de investigación (PI). La Tabla IV enlista los atributos y sus definiciones que son registrados en el formulario de extracción de datos. Los resultados obtenidos de esta actividad se muestran en la Tabla V.

TABLA IV
ATRIBUTOS USADOS PARA LA EXTRACCIÓN DE LOS DATOS

Atributos	Descripción
Título	¿Título del artículo?
Autores	¿Nombre de los autores?
Publicación	¿Dónde se publicó el artículo? ¿Año de publicación?
Contribución	¿Qué se desarrolló para lograr avances en el área de interés?
Contexto de la GCS	¿En qué área se centró la investigación?
Tipo de contribución	¿Cuál fue la contribución generada por el trabajo?
Tipo de investigación	¿Qué tipo de investigación se aplicó?

El *mapeo de estudios* se diseña después del proceso de extracción de datos, en el cual se describe el esquema de clasificación y los resultados de la extracción de datos. Para desarrollar un esquema propio de clasificación se sigue una estrategia de búsqueda de palabras claves que permita determinar categorías [31]. Este proceso se realiza en dos pasos. Primero, los revisores leen los resúmenes y buscan palabras claves y conceptos que reflejen la contribución del artículo, mientras lo hacen también identifican el contexto de investigación. Segundo, el conjunto de palabras claves de los diferentes artículos se agrupan y combinan para formar las categorías del mapa. Esto ayuda a los revisores a definir un conjunto de categorías que es representativo de la población subyacente [23].

El esquema de clasificación ensambla tres facetas, cada faceta consta de un conjunto de categorías a las que se pueden asignar los artículos. Las facetas son: (a) *contexto de la GCS*, (b) *tipo de contribución* y (c) *tipo de investigación*. La faceta contexto de investigación estructuró el tema "Gestión de

Configuración de Software en líneas de Productos Software", en términos de la variabilidad de productos, la derivación de productos y la evolución de la LPS. Además, se consideró el tipo de contribución, que por ejemplo podría ser un proceso, un método, una herramienta, etc. Estas categorías se derivan de las palabras claves. Sin embargo, la faceta tipo de investigación que refleja el enfoque de la investigación es general e independiente de un área específica de interés. Elegimos una clasificación existente descrita por Petersen [23] y en base a Wieringa [22], que es común para estudios de mapeo [29], [33], [43-45]. En consecuencia, una publicación puede clasificarse como: investigación de validación, investigación de evaluación, propuesta de solución, artículos filosóficos, artículos de opinión y artículos de experiencias.

Finalmente, los resultados de la extracción de datos de cada artículo seleccionado se asignan a una intersección determinada dentro del esquema. El proceso está impulsado por las definiciones de las categorías identificadas durante el desarrollo del esquema de clasificación.

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en la Tabla V (Extracción de datos) contiene la información relevante de los estudios seleccionados (características generales de los estudios, resumen de la contribución y categoría(s) de cada faceta) que se utilizan para generar un mapa de distribución de los estudios seleccionados sobre el contexto de investigación (Fig. 2) y calcular las frecuencias de los estudios en cada categoría del esquema de clasificación (Fig. 3). Esto permite analizar cómo se abordan las áreas de la GCS en las LPS, los tipos de investigación y contribuciones que se han realizado en las diferentes áreas de la GCS en las LPS, y así contestar las preguntas de investigación propuestas.

- 1) P11: *¿Qué áreas de la gestión de configuración de software en las líneas de productos software se han abordado y cuántos artículos cubren las diferentes áreas?*

A través del proceso de búsqueda de palabras clave, se identificaron las áreas de la faceta contexto de la GCS, que corresponden a las categorías: variabilidad de productos, evolución de la LPS y derivación de productos. La Fig. 2 muestra la distribución de los enfoques de investigación, en donde, se puede apreciar que los 23 artículos cubren al menos una de las categorías del contexto de investigación. El 85% de los estudios se centran en la variabilidad de productos (20 artículos); el 22% se enfocan en la evolución de la LPS (5 artículos); y el resto abordan la derivación de productos, es decir, el 22% (5 artículos).

- 2) P12: *¿Qué tipos de investigación se han llevado a cabo y qué tipos de contribuciones se han realizado en las diferentes áreas de la GCS en las LPS?*

Para contestar esta pregunta se realizó un diagrama de burbujas que representa las frecuencias interconectadas, en donde, se puede visualizar de forma clara y precisa la relación existente entre los enfoques de investigación de

la GCS vs. los tipos de contribución (Fig. 3: lado izquierdo del eje X) y los enfoques de investigación de la GCS vs. tipos de investigación (Fig. 3: lado derecho del eje X). El número de publicaciones en cada lado del eje X puede diferir, ya que algunas publicaciones proporcionan múltiples contribuciones, por ejemplo, un artículo referente al área de variabilidad de productos podría presentar un modelo, así como el soporte de la herramienta para construir ese modelo [31].

Con respecto a la distribución de los tipos de contribución, en las categorías del contexto de la GCS (Fig. 3: lado izquierdo del eje X) existe un 40% (12 artículos) que se enfocan en la creación de un tipo de herramienta. Tomando en cuenta las herramientas y los modelos resultan tener un porcentaje del 70% del total de los estudios (21 artículos). El 23.33% de los artículos reportan métodos (7 artículos). El 3.33% describe un proceso (1 artículo). Y el 3.33% presenta una técnica (1 artículo).

Del análisis del mapa (Fig. 3: lado derecho del eje X), se observa que el tipo de investigación más frecuente son las propuestas de solución con un 63.33% (19 artículos). El 16.67% presentan investigación de validación (5 artículos). El 13.33% (4 artículos) son artículos filosóficos y el 6.67% (2 artículos) son artículos basados en la experiencia. Ningún artículo reporta evaluación de las propuestas u opinión personal.

VI. DISCUSIÓN

El análisis de resultados presenta la cantidad de artículos que coinciden con cada categoría abordada en este estudio. Esto permite determinar qué categorías han sido enfatizadas en investigaciones pasadas y así identificar brechas y posibilidades para investigaciones futuras [23]. El mapa resultante produce una imagen clara de cómo la investigación del pasado se dispersa en múltiples facetas, ayudándonos a analizar intencionadamente los resultados mientras nos centramos en las frecuencias de las publicaciones, determinando así la cobertura del campo de estudio. Se combinan diferentes facetas del esquema para responder a las preguntas específicas de la investigación.

De los resultados obtenidos se puede observar que la publicación de artículos sobre la GCS en las LPS va incrementándose, en consonancia con lo que está ocurriendo en otros campos de la Ingeniería de Software. Un indicador de esta tendencia con respecto al año de publicación de los estudios seleccionados es que aproximadamente el 60.87% (14 artículos) se concentran en los últimos años, desde el 2016 al 2020. Otro dato interesante encontrado en este estudio es que de los 409 artículos candidatos a ser incluidos en el mapeo sólo el 5.62% (23 artículos) cumplieron con los criterios para ser finalmente aceptados para la extracción de datos.

Por lo tanto, tomando en cuenta la especificidad de la investigación, al parecer los términos de búsqueda relacionados con las LPS y la GCS fueron lo suficientemente adecuados y estables como para ser utilizados en la cadena de búsqueda.

TABLA V
 INFORMACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE DATOS DE LOS ESTUDIOS SELECCIONADOS

ID	Atributos	Información extraída
01 [57]	Título:	Scone - A requirements management tool for the specification and variability-based analysis of product lines
	Autores:	Allabar, S., Bettinger, C., Müllen, M., Rock, G.
	Publicación:	Advances in Transdisciplinary Engineering, 2020
	Contribución:	Presenta una herramienta ligera de gestión de requisitos, scone, que se incorporará a una metodología general de GV.
02 [82]	Contexto GCS:	Variabilidad Productos Tipo contribución: Herramienta Tipo investigación: Propuesta de Solución
	Título:	Mapping features to automatically identified object-oriented variability implementations: The case of ArgoUML-SPL
	Autores:	Mortara, J., Těrnava, X., Collet, P.
	Publicación:	14th International Working Conference on Variability Modelling of Software-Intensive Systems, VaMoS 2020
03 [52]	Contribución:	Propone un enfoque automatizado para gestionar la variabilidad, symfinder, que identifica y visualiza automáticamente los puntos de variación con variantes en sus assets de código.
	Contexto GCS:	Variabilidad Productos Tipo contribución: Herramienta Tipo investigación: Investigación de Validación
	Título:	Software Product Line Configuration and Traceability: An Empirical Study on SMarty Class and Component Diagrams
	Autores:	Thais Nepomuceno; Edson Oliveira Jr; Ricardo Geraldi; Andreia Malucelli; Sheila Reinehr; Marco A. Graciotto Silva
04 [83]	Publicación:	2020 IEEE 44th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC)
	Contribución:	Evalúa y compara el enfoque de GV basado en UML, SMarty, en términos de la configuración de productos de la LPS y la trazabilidad de la variabilidad entre los elementos variables de los diagramas de clase y de componentes.
	Contexto GCS:	Variabilidad Productos Tipo contribución: Herramienta Tipo investigación: Investigación de Validación
	Título:	REM4DSPL: A requirements engineering method for dynamic software product lines
05 [84]	Autores:	Sousa, A., Uchôa, A., Fernandes, E., (...), Monteiro, J.M., Andrade, R.M.C.
	Publicación:	18th Brazilian Symposium on Software Quality, SBQS 2019
	Contribución:	Presenta el método de Ingeniería de Requisitos para la LPSD, REM4DSPL, que proporciona una guía para los ingenieros de dominio mientras obtienen, modelan y gestionan las variabilidades en la LPSD.
	Contexto GCS:	Variabilidad Productos Tipo contribución: Método Tipo investigación: Propuesta de Solución
06 [53]	Título:	RESDEC: Online management tool for implementation components selection in software product lines using recommender systems
	Autores:	Rodas-Silva, J., Galindo, J.A., García-Gutiérrez, J., Benavides, D.
	Publicación:	23rd International Systems and Software Product Line Conference, SPLC 2019
	Contribución:	Presenta un prototipo de sistema de recomendación basado en componentes, RESDEC, diseñado para tomar las mejores alternativas de componentes de implementación a partir de características seleccionadas.
07 [62]	Contexto GCS:	Variabilidad Productos Tipo contribución: Herramienta Tipo investigación: Propuesta de Solución
	Título:	Managing product lines variability in rich internet applications
	Autores:	Asadi, M., Daliri, M.-R., Alipour, N.
	Publicación:	22nd IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference, EDOC 2018
08 [63]	Contribución:	Propone la herramienta, Varion, para ilustrar la variabilidad de las aplicaciones enriquecidas de Internet y derivar la aplicación final de acuerdo con el modelo de características configurado.
	Contexto GCS:	Variabilidad Productos, Derivación Productos Tipo contribución: Herramienta Tipo investigación: Propuesta de Solución
	Título:	Configuring software product line specific products with smarty and plus: An experimental study on use case diagrams
	Autores:	Nepomuceno, T.S., Oliveira, E.
09 [64]	Publicación:	17th Brazilian Symposium on Software Quality, SBQS 2018
	Contribución:	Presenta un experimento para comparar la eficacia de los enfoques de gestión de la variabilidad PLUS y SMarty cuando se utilizan para configurar productos a partir de diagramas de casos de uso.
	Contexto GCS:	Variabilidad Productos Tipo contribución: Método Tipo investigación: Artículo de Experiencia
	Título:	Variant management solution for large scale software product lines
10 [65]	Autores:	Pohl, R., Höchsmann, M., Wohlgemuth, P., Tischer, C.
	Publicación:	40th ACM/IEEE International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Practice, ICSE-SEIP 2018
	Contribución:	Presenta un enfoque metodológico sobre cómo utilizar dos herramientas con una solución de integración técnica para establecer una gestión de variantes exitosa en líneas de productos.
	Contexto GCS:	Variabilidad Productos Tipo contribución: Método Tipo investigación: Investigación de Validación
09 [64]	Título:	Ontology based variability management for dynamic reconfiguration of software product lines
	Autores:	Soujanya, K.L.S.
	Publicación:	Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems, 2018
	Contribución:	Implementa una solución basada en ontología para la reconfiguración automática de la LPS y la derivación de productos.
10 [65]	Contexto GCS:	Variabilidad Productos, Derivación Productos Tipo contribución: Herramienta Tipo investigación: Investigación de Validación
	Título:	Automated Constraint-Based Multi-tenant SaaS Configuration Support Using XML Filtering Techniques
	Autores:	Azadeh Etedali; Chung-Horng Lung; Samuel Ajila; Igor Veselinovic
	Publicación:	Proceedings - International Computer Software and Applications Conference, 2017
10 [65]	Contribución:	Proporciona un framework que integra las herramientas de modelado de características con una herramienta de filtrado, para la gestión de configuración basada en restricciones de las aplicaciones en la nube.
	Contexto GCS:	Variabilidad Productos Tipo contribución: Herramienta Tipo investigación: Propuesta de Solución

ID	Atributos	Información extraída
11 [66]	Título:	A Classification of Variation Control Systems
	Autores:	Linsbauer, L., Berger, T., Grünbacher, P.
	Publicación:	GPCE 2017 - Proceedings of the 16th ACM SIGPLAN, co-located with SPLASH 2017
	Contribución:	Presenta una clasificación y comparación de los sistemas de control de variación seleccionados para obtener una comprensión de sus capacidades y las ventajas que pueden ofrecer.
	Contexto GCS:	Evolución LPS Tipo contribución: Proceso Tipo investigación: Artículo Filosófico
12 [67]	Título:	Configuration Management Model in Evolutionary Software Product Line
	Autores:	Farahani, E.D., Habibi, J.
	Publicación:	International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering, 2016
	Contribución:	Proporciona modelos de gestión del cambio y gestión de versiones para el desarrollo y mantenimiento de sistemas de LPS basados en la evolución.
	Contexto GCS:	Evolución LPS Tipo contribución: Modelos Tipo investigación: Propuesta de Solución
13 [68]	Título:	Comprehensive configuration management model for software product line
	Autores:	Farahani, E.D., Habibi, J.
	Publicación:	International Journal of Control Theory and Applications, 2016
	Contribución:	Provee un modelo integral para ayudar a gestionar los artefactos implicados en la evolución de la LPS y sus productos.
	Contexto GCS:	Evolución LPS Tipo contribución: Modelo Tipo investigación: Propuesta de Solución
14 [88]	Título:	Dynamic Variability Management Supporting Operational Modes of a Power Plant Product Line
	Autores:	Rafael Capilla, Jan Bosch
	Publicación:	VaMoS '16: Proceedings of the Tenth International Workshop on Variability Modelling of Software-intensive Systems, 2016
	Contribución:	Se aplica un enfoque de variabilidad para gestionar las necesidades en tiempo de ejecución de una línea de productos de plantas de energía existente que usa diferentes modos de operación.
	Contexto GCS:	Variabilidad Productos Tipo contribución: Modelo Tipo investigación: Propuesta de Solución
15 [69]	Título:	A systematic approach for configuration management in software product lines
	Autores:	Soujanya, K.L.S., Ananda Rao, A.
	Publicación:	International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2015, IMECS 2015
	Contribución:	Propone un sistema de gestión de versiones de software para soportar la ILP.
	Contexto GCS:	Variabilidad Productos, Derivación Productos, Evolución LPS Tipo contribución: Modelo Tipo investigación: Propuesta de Solución
16 [70]	Título:	Realizing a conceptual framework to integrate model-driven engineering, software product line engineering, and software configuration management
	Autores:	Schwägerl, F., Buchmann, T., Uhrig, S., Westfechtel, B.
	Publicación:	3rd International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development, MODELSWARD 2015
	Contribución:	Proporciona una solución integrada para la ISDM, la ILPS y la GCS, que aborda varios inconvenientes tales como la variabilidad restringida que es común para los enfoques ILP dirigida por modelos.
	Contexto GCS:	Variabilidad Productos, Derivación Productos, Evolución LPS Tipo contribución: Herramienta Tipo investigación: Artículo Filosófico
17 [90]	Título:	Extending variability management to the next level
	Autores:	Krzysztof Sierszecki, Michaela Steffens, Helene H. Hojrup, Juha Savolainen, Danilo Beuche
	Publicación:	SPLC '14 Proceedings of the 18th International Software Product Line Conference, 2014
	Contribución:	Este trabajo presenta una extensión de la GV que va más allá del alcance de la reutilización de assets de software previamente implantados en una empresa.
	Contexto GCS:	Variabilidad Productos Tipo contribución: Modelo Tipo investigación: Propuesta de Solución
18 [95]	Título:	Scalable variability management for enterprise applications with data model driven development
	Autores:	Yuzo Ishida
	Publicación:	SPLC '13 Workshops Proceedings of the 17th International Software Product Line Conference co-located workshops, 2013
	Contribución:	Explica una técnica de descomposición en sistemas empresariales intensivos en datos, para una GV escalable y sustentable.
	Contexto GCS:	Variabilidad Productos Tipo contribución: Técnica Tipo investigación: Artículo de Experiencia
19 [74]	Título:	Tested approach for variability management enhancing in software product line
	Autores:	Kolesnyk, A., Slabospitskaya, O.
	Publicación:	8th International Conference ICTERI 2012
	Contribución:	Se propone un nuevo Modelo de Variabilidad y Funciones de Gestión para el proceso de mejora de la GV.
	Contexto GCS:	Variabilidad Productos Tipo contribución: Modelo Tipo investigación: Propuesta de Solución
20 [75]	Título:	Variability management in software product line activity diagrams
	Autores:	Fiori, D.R., Gimenes, I.M.S., Maldonado, J.C., Oliveira, E.A.
	Publicación:	DMS 2012 - 18th International Conference on Distributed Multimedia Systems
	Contribución:	Presenta una propuesta para la gestión de las variabilidades en los diagramas de actividad de la línea de productos.
	Contexto GCS:	Variabilidad Productos Tipo contribución: Modelo Tipo investigación: Propuesta de Solución
21 [78]	Título:	Variation Management for Software Product Lines with Cumulative Coverage of Feature Interactions
	Autores:	Shigeo Kato; Nobuhito Yamaguchi

ID	Atributos	Información extraída
22 [79]	Publicación:	Software Product Line Conference (SPLC), 2011 15th International
	Contribución:	Presenta una forma práctica de gestionar las LPS con respecto a las interacciones de sus características.
	Contexto GCS:	Variabilidad Productos Tipo contribución: Método Tipo investigación: Propuesta de Solución
	Título:	Variability management for software product-line architecture development
	Autores:	Kim, Y.-G., Lee, S.K., Jang, S.-B.
23 [80]	Publicación:	International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering, 2011
	Contribución:	Propone procesos y artefactos para construir la arquitectura de la LPS y para la gestión uniforme de la variabilidad a lo largo del ciclo de vida de las LPS.
	Contexto GCS:	Variabilidad Productos Tipo contribución: Método Tipo investigación: Propuesta de Solución
	Tipo contribución:	Método Tipo investigación: Propuesta de Solución
	Título:	VML* - A family of languages for variability management in software product lines
23 [80]	Autores:	Zschaler, S., Sánchez, P., Santos, J., (...), Araújo, J., Kulesza, U.
	Publicación:	Lecture Notes in Computer Science, 2010
	Contribución:	Se abordan técnicas de ILPS para producir una familia de lenguajes o una línea de productos de lenguajes que permita la GV.
	Contexto GCS:	Variabilidad Productos, Derivación Productos Tipo contribución: Modelo Tipo investigación: Propuesta de Solución

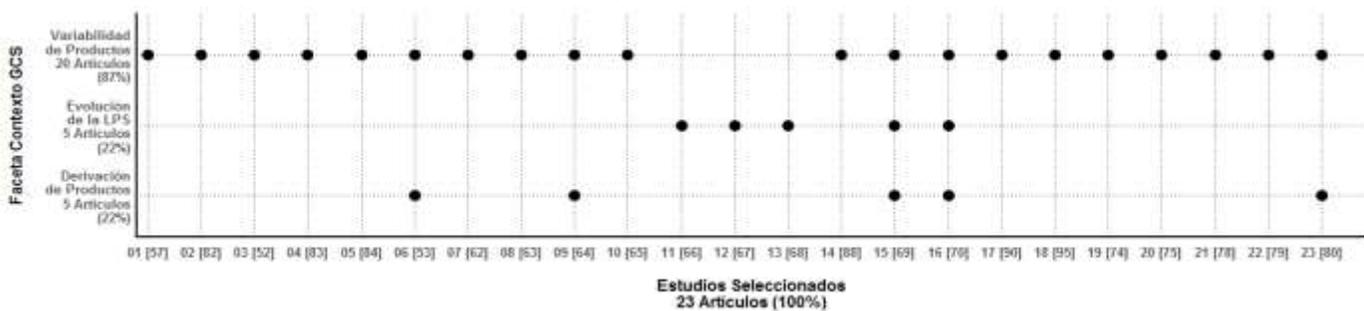


Fig. 2. Distribución de los estudios seleccionados sobre el contexto de investigación.



Fig. 3. Mapa del contexto de investigación sobre la GCS en las LPS. El contexto de investigación en el eje Y; el tipo de contribución en el lado izquierdo del eje X, y el tipo de investigación en el lado derecho del eje X.

Del análisis del gráfico de burbujas que se presenta en la Fig. 3, podemos concluir que el mayor conjunto de contribuciones en el área de GCS en las LPS está relacionado con las propuestas de solución (más del 60%). La mayoría de ellas se refieren al desarrollo de herramientas y la otra parte se centra en los modelos. Este hecho refuerza que el campo de la GCS en las LPS se encuentra todavía en su etapa de formación, debido a que, sumado a las propuestas de solución, los artículos filosóficos y los artículos basados en la experiencia totalizan el 83.33% (25 artículos), esto indica que existen pocos estudios que tratan sobre investigaciones de validación, en donde las técnicas propuestas son novedosas y aún no se han implementado en la práctica, es decir, solo se ha realizado un trabajo experimental.

Por otra parte, no existen investigaciones de evaluación, en

donde, se muestre cómo se implementa la técnica en la práctica y cuáles son las consecuencias de la implementación en términos de beneficios e inconvenientes en la industria. Por ello, es difícil encontrar artículos de experiencia que presenten la aplicabilidad de las ideas de la GCS en las LPS en un contexto industrial. Cabe notar que, se han propuesto pocos métodos, procesos y técnicas y la mayoría de las contribuciones existentes se encuentran en una etapa de validación y no se están utilizando todavía en un contexto industrial real por la ausencia de una etapa de evaluación.

Finalmente, se puede indicar que la presencia de algunos artículos filosóficos (alrededor del 13%) muestra que parte de la comunidad de Ingeniería de Software se preocupa por contribuir y compartir conocimientos para alcanzar una base común en el área de estudio.

VII. AMENAZAS A LA VALIDEZ

Esta sección describe las diferentes amenazas a la validez del EMS. Presentamos cómo se abordaron las principales amenazas para minimizar la probabilidad de su realización e impacto. Discutimos la validez del estudio con respecto a los cuatro grupos de amenazas comunes a la validez: (a) *validez interna*, (b) *validez externa*, (c) *validez constructiva* y (d) *validez de las conclusiones* [41], [47].

La validez interna se refiere a la medida en que el diseño y la realización del estudio pueden prevenir errores sistemáticos [11]. En este sentido, una limitación de este estudio se refiere a la fiabilidad [48]. La fiabilidad en la extracción de datos se ha manejado en la medida de lo posible, involucrando a dos investigadores que no son expertos en el área y disponiendo de un protocolo que ha sido ejecutado de forma individual por los evaluadores, y posteriormente haciendo una validación cruzada de los resultados obtenidos por cada uno tras analizar los artículos, comprobando así que ambos han llegado a las mismas conclusiones. Sin embargo, parte de la extracción de datos, la evaluación de la calidad en particular, es una actividad subjetiva y es probable que produzca resultados diferentes cuando sea ejecutada por otros investigadores.

La validez externa se refiere a la medida en que los efectos observados en el estudio son aplicables fuera del contexto de estudio [12]. Para la investigación, una posible amenaza sería si los artículos finales seleccionados representan una parte significativa de la literatura que se pretende estudiar. Se intentó mitigar esta amenaza utilizando varias bibliotecas digitales para la búsqueda automatizada. Sin embargo, existen otras bibliotecas digitales donde se pueden realizar búsquedas como Google Scholar [12], se decidió no usarlas para la búsqueda principal, ya que recuperaron un gran número de estudios irrelevantes en la búsqueda previa al mapeo. Por lo tanto, es posible que algunas investigaciones no hayan sido accedidas desde las bibliotecas utilizadas [38], [40], [49-51].

La validez constructiva refleja hasta qué punto el problema en estudio representa realmente lo que los investigadores tienen en mente y lo que se investiga según las PI [29], [41]. Para el mapeo sistemático, la principal amenaza para este tipo de validez es si la cadena de búsqueda refleja lo que se busca. Se trató de minimizar esta amenaza validando la cadena con el apoyo de un investigador experimentado y probándola antes de iniciar el proceso de búsqueda. Al probar la cadena, se verificó si los estudios conocidos, como [12], [13], [25] estaban incluidos en los resultados.

Las amenazas a *la validez de las conclusiones* están relacionadas con los aspectos que afectan la capacidad de sacar conclusiones correctas de un estudio [41]. Una amenaza potencial para la validez de las conclusiones es la fiabilidad de las categorías de extracción de datos, ya que no toda la información era obvia para responder a las PI y algunos datos tenían que ser interpretados. Sin embargo, las diferentes categorías se adaptaron a este estudio en particular. El establecimiento del esquema de clasificación y el mapeo de estudios fue realizado de manera iterativa a medida que se agregaban nuevos estudios primarios. Cuando finalmente se estableció el esquema, todas las categorías se volvieron a

verificar.

VIII. CONCLUSIONES

Este estudio presenta un mapeo sistemático en el área de la gestión de configuración de software en líneas de productos software. El objetivo principal fue la revisión de los estudios existentes sobre la GCS en las LPS, con el fin de identificar los enfoques útiles y las necesidades futuras de investigación.

Del análisis de la distribución de los estudios sobre el contexto de investigación se observa que en el proceso de derivación de productos se encuentra inmerso el manejo de la variabilidad productos lo que se corrobora en [20], donde se indica que en la ingeniería de líneas de productos software, uno de los aspectos importantes a considerar es el manejo de la variabilidad durante el proceso de derivación de cada producto. En cuanto a la evolución de la LPS ésta puede considerar el soporte de la variabilidad de productos, debido a que los productos evolucionan independientemente de los componentes que se comparten entre los diferentes productos.

El mapa sistemático muestra que el 87% de las investigaciones han sido sobre la variabilidad de productos con un enfoque en el desarrollo de herramientas, métodos y modelos. El resto de artículos cubren las áreas de la evolución y derivación de productos. La evolución de productos se ha centrado en el desarrollo de modelos y en cuanto a la derivación de productos se ha basado en la implementación de herramientas.

Basados en el mapa se verifica la falta de investigación sobre métodos y técnicas para soportar la evolución de la LPS. Esta puede ser un área futura fructífera para más investigación.

El principal tipo de investigación ha sido las propuestas de solución, seguidas de la investigación de validación y los artículos filosóficos, esto puede indicar que el área está en proceso de proporcionar una base más coherente para la aplicabilidad de los enfoques de la GCS. Sin embargo, en este mapeo sistemático no se han encontrado investigaciones de evaluación que impliquen una verificación práctica en la industria de la contribución propuesta o existente. De lo anterior, se puede determinar que las investigaciones pasadas se centran en el desarrollo de propuestas de solución y se han identificado como investigaciones futuras las etapas de validación y evaluación.

Por lo anterior, la ingeniería de la línea de productos software en general, y la gestión de configuración de software en particular, necesitan nuevos enfoques metodológicos. Sin embargo, los métodos necesitan el soporte de modelos subyacentes para su fundamento teórico, herramientas para su uso práctico y métricas para su gestión y evaluación.

REFERENCIAS

- [1] P. Clements and L. Northrop, *Software Product Lines: Practices and Patterns*. Addison-Wesley, 2002.
- [2] K. Pohl, G. Böckle, and F. J. van der Linden, *Software Product Line Engineering: Foundations, Principles and Techniques*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2005.

- [3] W. B. Frakes and Kyo Kang, "Software reuse research: status and future," *IEEE Trans. Softw. Eng.*, vol. 31, no. 7, pp. 529–536, Jul. 2005, doi: 10.1109/TSE.2005.85.
- [4] A. Gonzalez, C. Luna, F. Zorzan, and N. Szasz, "Automatization of the Instantiation Process for the Behavior of Software Product Lines," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 12, no. 6, pp. 1120–1126, Sep. 2014, doi: 10.1109/TLA.2014.6894009.
- [5] C. Denger and R. Kolb, "Testing and Inspecting Reusable Product Line Components: First Empirical Results," in *Proceedings of the 2006 ACM/IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering*, New York, NY, USA, 2006, pp. 184–193, doi: 10.1145/1159733.1159762.
- [6] L. Northrop *et al.*, "A framework for software product line practice, version 5.0," *SEI-2007-<http://www.sei.cmu.edu/productlines/index.html>*, 2007.
- [7] J. Bosch, "Maturity and evolution in software product lines: Approaches, artefacts and organization," in *International Conference on Software Product Lines*, 2002, pp. 257–271.
- [8] L. M. Northrop, "SEI's software product line tenets," *IEEE Softw.*, vol. 19, no. 4, pp. 32–40, 2002.
- [9] P. C. Clements, L. G. Jones, L. M. Northrop, and J. D. McGregor, "Project management in a software product line organization," *IEEE Softw.*, vol. 22, no. 5, pp. 54–62, 2005.
- [10] J. R. F. da Silva, F. A. P. da Silva, L. M. do Nascimento, D. A. Martins, and V. C. Garcia, "The dynamic aspects of product derivation in DSP: A systematic literature review," in *Information Reuse and Integration (IRI), 2013 IEEE 14th International Conference on*, 2013, pp. 466–473.
- [11] C. W. Krueger, "New methods in software product line practice," *Commun. ACM*, vol. 49, no. 12, pp. 37–40, 2006.
- [12] L. Chen and M. A. Babar, "A systematic review of evaluation of variability management approaches in software product lines," *Inf. Softw. Technol.*, vol. 53, no. 4, pp. 344–362, 2011.
- [13] P. Espinel, E. Espinosa, and M. Urbietta, "Software configuration management for software product line paradigm: A systematic mapping study," in *Software Process Improvement (CIMPS), International Conference on*, 2016, pp. 1–8.
- [14] J. Bosch, "Software variability management," in *Proceedings. 26th International Conference on Software Engineering*, May 2004, pp. 720–721, doi: 10.1109/ICSE.2004.1317504.
- [15] H. Gomaa and M. E. Shin, "A multiple-view meta-modeling approach for variability management in software product lines," in *International Conference on Software Reuse*, 2004, pp. 274–285, Accessed: Oct. 14, 2017. [Online]. Available: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-27799-6_23.
- [16] T. Mens and S. Demeyer, Eds., *Software Evolution*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2008.
- [17] T. Mens, "A state-of-the-art survey on software merging," *IEEE Trans. Softw. Eng.*, vol. 28, no. 5, pp. 449–462, May 2002, doi: 10.1109/TSE.2002.1000449.
- [18] D. Batory, D. Benavides, and A. Ruiz-Cortes, "Automated analysis of feature models: challenges ahead," *Commun. ACM*, vol. 49, no. 12, pp. 45–47, Dec. 2006, doi: 10.1145/1183236.1183264.
- [19] J. Van Gurp and C. Prehofer, "Version management tools as a basis for integrating product derivation and software product families," *Proc VaMoS*, vol. 6, pp. 48–58, 2006.
- [20] R. Rabiser, P. Grünbacher, and D. Dhungana, "Requirements for product derivation support: Results from a systematic literature review and an expert survey," *Inf. Softw. Technol.*, vol. 52, no. 3, pp. 324–346, 2010.
- [21] K. L. S. Soujanya and A. AnandaRao, "A Generic Framework for Configuration Management of SPL and Controlling Evolution of Complex Software Products," *ACM SIGSOFT Softw. Eng. Notes*, vol. 41, no. 1, pp. 1–10, 2016.
- [22] R. Wieringa, N. Maiden, N. Mead, and C. Rolland, "Requirements engineering paper classification and evaluation criteria: a proposal and a discussion," *Requir. Eng.*, vol. 11, no. 1, pp. 102–107, 2006.
- [23] K. Petersen, R. Feldt, S. Mujtaba, and M. Mattsson, "Systematic Mapping Studies in Software Engineering," in *EASE*, 2008, vol. 8, pp. 68–77.
- [24] M. Gramajo, L. Ballejos, and M. Ale, "Seizing Requirements Engineering Issues through Supervised Learning Techniques," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 18, no. 07, pp. 1164–1184, Jul. 2020, doi: 10.1109/TLA.2020.9099757.
- [25] D. Budgen and P. Brereton, "Performing systematic literature reviews in software engineering," in *Proceedings of the 28th international conference on Software engineering*, 2006, pp. 1051–1052.
- [26] H. H. Guedea-Noriega and F. García-Sánchez, "Semantic (Big) Data Analysis: an Extensive Literature Review," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 17, no. 05, pp. 796–806, May 2019, doi: 10.1109/TLA.2019.8891948.
- [27] G. Guedes, C. Silva, M. Soares, and J. Castro, "Variability management in dynamic software product lines: A systematic mapping," in *Components, Architectures and Reuse Software (SBCARS), 2015 IX Brazilian Symposium on*, 2015, pp. 90–99.
- [28] J. A. Pereira, K. Constantino, and E. Figueiredo, "A systematic literature review of software product line management tools," in *International Conference on Software Reuse*, 2015, pp. 73–89.
- [29] E. Engström and P. Runeson, "Software product line testing—a systematic mapping study," *Inf. Softw. Technol.*, vol. 53, no. 1, pp. 2–13, 2011.
- [30] P. A. da M. S. Neto, I. do Carmo Machado, J. D. McGregor, E. S. De Almeida, and S. R. de Lemos Meira, "A systematic mapping study of software product lines testing," *Inf. Softw. Technol.*, vol. 53, no. 5, pp. 407–423, 2011.
- [31] S. Mujtaba, K. Petersen, R. Feldt, and M. Mattsson, "Software product line variability: A systematic mapping study," *Sch. Eng. Blekinge Inst Technol.*, 2008.
- [32] D. Budgen, M. Turner, P. Brereton, and B. Kitchenham, "Using mapping studies in software engineering," in *Proceedings of PPIG*, 2008, vol. 8, pp. 195–204.
- [33] K. Petersen, S. Vakkalanka, and L. Kuzniarz, "Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update," *Inf. Softw. Technol.*, vol. 64, pp. 1–18, 2015.
- [34] H. Arksey and L. O'Malley, "Scoping studies: towards a methodological framework," *Int. J. Soc. Res. Methodol.*, vol. 8, no. 1, pp. 19–32, Feb. 2005, doi: 10.1080/1364557032000119616.
- [35] B. Kitchenham *et al.*, "Systematic literature reviews in software engineering – A tertiary study," *Inf. Softw. Technol.*, vol. 52, no. 8, pp. 792–805, Aug. 2010, doi: 10.1016/j.infsof.2010.03.006.
- [36] B. A. Kitchenham and S. Charters, "Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering technical report," *Softw. Eng. Group EBSE Tech. Rep. Keele Univ. Dep. Comput. Sci. Univ. Durh.*, vol. 2, 2007.
- [37] V. Berg, J. Birkeland, A. Nguyen-Duc, I. O. Pappas, and L. Jaccheri, "Software startup engineering: A systematic mapping study," *J. Syst. Softw.*, vol. 144, pp. 255–274, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.jss.2018.06.043.
- [38] B. Kitchenham *et al.*, "The impact of limited search procedures for systematic literature reviews—A participant-observer case study," in *Empirical Software Engineering and Measurement, 2009. ESEM 2009. 3rd International Symposium on*, 2009, pp. 336–345.
- [39] T. Dyba, T. Dingsoyr, and G. K. Hanssen, "Applying systematic reviews to diverse study types: An experience report," in *Empirical Software Engineering and Measurement, 2007. ESEM 2007. First International Symposium on*, 2007, pp. 225–234.
- [40] C. Wohlin, "Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering," in *Proceedings of the 18th international conference on evaluation and assessment in software engineering*, 2014, pp. 1–10.
- [41] C. Wohlin, P. Runeson, M. Höst, M. C. Ohlsson, B. Regnell, and A. Wesslén, *Experimentation in software engineering*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [42] K. Gwet, "Inter-rater reliability: dependency on trait prevalence and marginal homogeneity," *Stat. Methods Inter-Rater Reliab. Assess. Ser.*, vol. 2, no. 1, p. 9, 2002.
- [43] C. Wohlin, P. Runeson, P. A. da Mota Silveira Neto, E. Engström, I. do Carmo Machado, and E. S. de Almeida, "On the reliability of mapping studies in software engineering," *J. Syst. Softw.*, vol. 86, no. 10, pp. 2594–2610, Oct. 2013, doi: 10.1016/j.jss.2013.04.076.
- [44] B. Kitchenham and P. Brereton, "A systematic review of systematic review process research in software engineering," *Inf. Softw. Technol.*, vol. 55, no. 12, pp. 2049–2075, Dec. 2013, doi: 10.1016/j.infsof.2013.07.010.
- [45] T. Kosar, S. Bohra, and M. Mernik, "Domain-Specific Languages: A Systematic Mapping Study," *Inf. Softw. Technol.*, vol. 71, pp. 77–91, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.infsof.2015.11.001.
- [46] J. L. Fleiss, B. Levin, and M. C. Paik, *Statistical methods for rates and proportions*. John Wiley & Sons, 2013.
- [47] K. Petersen and C. Gencel, "Worldviews, Research Methods, and their Relationship to Validity in Empirical Software Engineering Research," in *2013 Joint Conference of the 23rd International Workshop on Software Measurement and the 8th International Conference on*

- Software Process and Product Measurement*, Oct. 2013, pp. 81–89, doi: 10.1109/IWSM-Mensura.2013.22.
- [48] P. Runeson and M. Höst, “Guidelines for conducting and reporting case study research in software engineering,” *Empir. Softw. Eng.*, vol. 14, no. 2, p. 131, 2009.
- [49] V. Gomez-Jauregui, C. Gomez-Jauregui, C. Machado, and C. Otero, “Information management and improvement of citation indices,” *Int. J. Inf. Manag.*, vol. 34, no. 2, pp. 257–271, Apr. 2014, doi: 10.1016/j.ijinfomgt.2014.01.002.
- [50] M. Franceschet, “A comparison of bibliometric indicators for computer science scholars and journals on Web of Science and Google Scholar,” *Scientometrics*, vol. 83, no. 1, pp. 243–258, Apr. 2010, doi: 10.1007/s11192-009-0021-2.
- [51] P. Jacsó, “Google Scholar revisited,” *Online Inf. Rev.*, vol. 32, no. 1, pp. 102–114, Jan. 2008, doi: 10.1108/14684520810866010.
- [52] T. Nepomuceno, E. Oliveira Jr, R. Galdi, A. Malucelli, S. Reinehr, and M. A. G. Silva, “Software Product Line Configuration and Traceability: An Empirical Study on SMarty Class and Component Diagrams,” in 2020 IEEE 44th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC), Jul. 2020, pp. 979–984, doi: 10.1109/COMPSAC48688.2020.0-144.
- [53] M. Asadi, M. Daliri, and N. Alipour, “Managing Product Lines Variability in Rich Internet Applications,” in 2018 IEEE 22nd International Enterprise Distributed Object Computing Conference (EDOC), Oct. 2018, pp. 208–217, doi: 10.1109/EDOC.2018.00034.
- [54] N. Khedri and R. Khosravi, “Incremental variability management in conceptual data models of software product lines,” in Software Engineering Conference (APSEC), 2015 Asia-Pacific, 2015, pp. 222–229.
- [55] M. Abu-Matar and H. Gomaa, “An automated framework for variability management of service-oriented software product lines,” in *Service Oriented System Engineering (SOSE), 2013 IEEE 7th International Symposium on*, 2013, pp. 260–267.
- [56] V. Nunes, P. Fernandes, V. Alves, and G. Rodrigues, “Variability management of reliability models in software product lines: An expressiveness and scalability analysis,” in *Software Components Architectures and Reuse (SBCARS), 2012 Sixth Brazilian Symposium on*, 2012, pp. 51–60.
- [57] S. Allabar, C. Bettinger, M. Müllen, and G. Rock, “Scone - A requirements management tool for the specification and variability-based analysis of product lines,” 2020, vol. 12, pp. 433–442, doi: 10.3233/ATDE200103.
- [58] K. L. Petry, E. Oliveira Jr, and A. F. Zorzo, “Model-based testing of software product lines: Mapping study and research roadmap,” *Journal of Systems and Software*, vol. 167, 2020, doi: 10.1016/j.jss.2020.110608.
- [59] M. Derras et al., “Approach for variability management of legal rights in human resources software product lines,” 2019, pp. 514–521, doi: 10.5220/0007955905140521.
- [60] L. Samimi-Dehkordi, B. Zamani, and S. Kolahdouz-Rahimi, “Leveraging product line engineering for the development of domain-specific metamodeling languages,” *Journal of Computer Languages*, vol. 51, pp. 193–213, 2019, doi: 10.1016/j.cola.2019.02.006.
- [61] O. Tovstokorenko and R. Gamzayev, “Towards requirements variability in agile software product line development,” 2018, vol. 2122, pp. 87–95.
- [62] T. S. Nepomuceno and E. Oliveira, “Configuring software product line specific products with smarty and plus: An experimental study on use case diagrams,” 2018, pp. 81–90, doi: 10.1145/3275245.3275254.
- [63] R. Pohl, M. Höchsmann, P. Wohlgenuth, and C. Tischer, “Variant management solution for large scale software product lines,” 2018, pp. 85–94, doi: 10.1145/3183519.3183523.
- [64] K. L. S. Soujanya, “Ontology based variability management for dynamic reconfiguration of software product lines,” *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, vol. 9, no. Special Issue 18, pp. 2361–2375, 2018.
- [65] A. Etedali, C.-H. Lung, S. Ajila, and I. Veselinovic, “Automated Constraint-Based Multi-tenant SaaS Configuration Support Using XML Filtering Techniques,” in *2017 IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC)*, Jul. 2017, vol. 2, pp. 413–418, doi: 10.1109/COMPSAC.2017.69.
- [66] L. Linsbauer, T. Berger, and P. Grünbacher, “A classification of variation control systems,” *SIGPLAN Not.*, vol. 52, no. 12, pp. 49–62, Oct. 2017, doi: 10.1145/3170492.3136054.
- [67] E. D. Farahani and J. Habibi, “Configuration Management Model in Evolutionary Software Product Line,” *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*, vol. 26, no. 03, pp. 433–455, 2016.
- [68] E. D. Farahani and J. Habibi, “Comprehensive configuration management model for software product line,” *International Journal of Control Theory and Applications*, vol. 9, no. 25, pp. 301–322, 2016.
- [69] K. L. S. Soujanya and A. A. Rao, “A systematic approach for configuration management in software product lines,” in *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*, 2015, vol. 1.
- [70] F. Schwägerl, T. Buchmann, S. Uhrig, and B. Westfechtel, “Realizing a Conceptual Framework to Integrate Model-Driven Engineering, Software Product Line Engineering, and Software Configuration Management,” in *International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development*, 2015, pp. 21–44.
- [71] F. Schwägerl, T. Buchmann, S. Uhrig, and B. Westfechtel, “Towards the integration of model-driven engineering, software product line engineering, and software configuration management,” in *Model-Driven Engineering and Software Development (MODELSWARD), 2015 3rd International Conference on*, 2015, pp. 1–14.
- [72] T. Huyssegoms, M. Snoeck, G. Dedene, A. Goderis, and F. Stumpe, “A case study on variability management in software product lines: identifying why real-life projects fail,” *International Journal of Information Systems and Project Management*, vol. 1, no. 1, pp. 37–48, 2013.
- [73] T. Buchmann, A. Dotor, and B. Westfechtel, “MOD2-SCM: A model-driven product line for software configuration management systems,” *Information and Software Technology*, vol. 55, no. 3, pp. 630–650, 2013.
- [74] A. Kolesnyk and O. Slabospitskaya, “Tested Approach for Variability Management Enhancing in Software Product Line,” in *ICTERI*, 2012, pp. 155–162.
- [75] D. R. Fiori, I. M. de Souza Gimenes, J. C. Maldonado, and E. A. de Oliveira Junior, “Variability Management in Software Product Line Activity Diagrams,” in *DMS*, 2012, pp. 89–94.
- [76] E. G. E. Gallardo, “Using configuration management and product line software paradigms to support the experimentation process in software engineering,” in *Research Challenges in Information Science (RCIS), 2012 Sixth International Conference on*, 2012, pp. 1–6.
- [77] S. Jarzabek, “Pragmatic strategies for variability management in software product lines,” *Top Productivity through Software Reuse*, pp. 244–245, 2011.
- [78] S. Kato and N. Yamaguchi, “Variation management for software product lines with cumulative coverage of feature interactions,” in *Software Product Line Conference (SPLC), 2011 15th International*, 2011, pp. 140–149.
- [79] Y.-G. Kim, S. K. Lee, and S.-B. Jang, “Variability management for software product-line architecture development,” *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*, vol. 21, no. 07, pp. 931–956, 2011.
- [80] S. Zschaler et al., “VML* - A family of languages for variability management in software product lines,” *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 5969 LNCS, pp. 82–102, 2010, doi: 10.1007/978-3-642-12107-4_7.
- [81] L. Chen and M. Babar, “Variability management in software product lines: an investigation of contemporary industrial challenges,” *Software Product Lines: Going Beyond*, pp. 166–180, 2010.
- [82] J. Mortara, X. Těrnava, and P. Collet, “Mapping features to automatically identified object-oriented variability implementations: the case of ArgoUML-SPL,” in *Proceedings of the 14th International Working Conference on Variability Modelling of Software-Intensive Systems*, New York, NY, USA, Feb. 2020, pp. 1–9, doi: 10.1145/3377024.3377037.
- [83] A. Sousa, A. Uchôa, E. Fernandes, C. I. M. Bezerra, J. M. Monteiro, and R. M. C. Andrade, “REM4DSPL: A Requirements Engineering Method for Dynamic Software Product Lines,” in *Proceedings of the XVIII Brazilian Symposium on Software Quality*, New York, NY, USA, Oct. 2019, pp. 129–138, doi: 10.1145/3364641.3364656.
- [84] J. Rodas-Silva, J. A. Galindo, J. García-Gutiérrez, and D. Benavides, “RESDEC: Online Management Tool for Implementation Components Selection in Software Product Lines Using Recommender Systems,” in *Proceedings of the 23rd International Systems and Software Product Line Conference - Volume B*, New York, NY, USA, Sep. 2019, pp. 33–36, doi: 10.1145/3307630.3342390.

- [85] J. Ghofrani, E. Kozegar, A. L. Fehlhaber, and M. D. Soorati, "Applying Product Line Engineering Concepts to Deep Neural Networks," in *Proceedings of the 23rd International Systems and Software Product Line Conference - Volume A*, New York, NY, USA, Sep. 2019, pp. 72–77, doi: 10.1145/3336294.3336321.
- [86] A. E. Chacón-Luna, E. G. Ruiz, J. A. Galindo, and D. 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*, New York, NY, USA, Sep. 2019, pp. 82–89, doi: 10.1145/3307630.3342421.
- [87] S. El-Sharkawy, N. Yamagishi-Eichler, and K. Schmid, "Metrics for Analyzing Variability and Its Implementation in Software Product Lines: A Systematic Literature Review," in *Proceedings of the 23rd International Systems and Software Product Line Conference - Volume A*, New York, NY, USA, Sep. 2019, p. 244, doi: 10.1145/3336294.3342368.
- [88] R. Capilla and J. Bosch, "Dynamic Variability Management Supporting Operational Modes of a Power Plant Product Line," in *Proceedings of the Tenth International Workshop on Variability Modelling of Software-intensive Systems*, 2016, pp. 49–56.
- [89] M. Becker and B. Zhang, "Lean variation management: Increasing business value with a diversified approach," in *Proceedings of the 19th International Conference on Software Product Line*, 2015, pp. 385–385.
- [90] K. Sierszecki, M. Steffens, H. H. Hojrup, J. Savolainen, and D. Beuche, "Extending variability management to the next level," in *Proceedings of the 18th International Software Product Line Conference-Volume 1*, 2014, pp. 320–329.
- [91] K. Villela, A. Silva, T. Vale, and E. S. de Almeida, "A survey on software variability management approaches," in *Proceedings of the 18th International Software Product Line Conference-Volume 1*, 2014, pp. 147–156.
- [92] A. Metzger and K. Pohl, "Software product line engineering and variability management: achievements and challenges," in *Proceedings of the on Future of Software Engineering*, 2014, pp. 70–84.
- [93] J. Savolainen, "Past, present and future of product line engineering in industry: reflecting on 15 years of variability management in real projects," in *Proceedings of the Eighth International Workshop on Variability Modelling of Software-Intensive Systems*, 2014, p. 1.
- [94] D. Benavides and J. A. Galindo, "Variability management in an unaware software product line company: an experience report," in *Proceedings of the Eighth International Workshop on Variability Modelling of Software-Intensive Systems*, 2014, p. 5.
- [95] Y. Ishida, "Scalable variability management for enterprise applications with data model driven development," in *Proceedings of the 17th International Software Product Line Conference co-located workshops*, 2013, pp. 90–93.
- [96] C. Dumitrescu, R. Mazo, C. Salinesi, and A. Dauron, "Bridging the gap between product lines and systems engineering: an experience in variability management for automotive model based systems engineering," in *Proceedings of the 17th International Software Product Line Conference*, 2013, pp. 254–263.
- [97] B. Wang, L. Passos, Y. Xiong, K. Czarnecki, H. Zhao, and W. Zhang, "Smartfixer: Fixing software configurations based on dynamic priorities," in *Proceedings of the 17th International Software Product Line Conference*, 2013, pp. 82–90.
- [98] A. K. Thurimella and S. Ramaswamy, "On adopting multi-criteria decision-making approaches for variability management in software product lines," in *Proceedings of the 16th International Software Product Line Conference-Volume 2*, 2012, pp. 32–35.
- [99] A. Leitner, J. Zehetner, P. Toeglhofer, and D. Watzzenig, "Requirement identification for variability management in a co-simulation environment," in *Proceedings of the 16th International Software Product Line Conference-Volume 1*, 2012, pp. 269–274.
- [100] A. Abele, H. Lönn, M.-O. Reiser, M. Weber, and H. Glathe, "EPM: a prototype tool for variability management in component hierarchies," in *Proceedings of the 16th International Software Product Line Conference-Volume 2*, 2012, pp. 246–249.
- [101] M. Acher, P. Heymans, P. Collet, and P. Lahire, "Next-generation model-based variability management: languages and tools," 2012.
- [102] S. Khoshnevis, "An approach to variability management in service-oriented product lines," in *Proceedings of the 34th International Conference on Software Engineering*, 2012, pp. 1483–1486.
- [103] C. Pichler and C. Huemer, "Towards variability management in business document types using product line engineering," in *Proceedings of the*

5th European Conference on Software Architecture: Companion Volume, 2011, p. 8.

[104] <http://www.scopus.com>

[105] <http://ieeexplore.ieee.org>.

[106] <http://dl.acm.org>.



Gonzalo Patricio Espinel, es graduado de la Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga-Ecuador en Ingeniería en Sistemas e Informática, cuenta con: una Especialidad en Gestión de las Comunicaciones y Tecnologías de la Información en la Escuela Politécnica Nacional Quito-Ecuador, un Masterado en Ingeniería de Software en la Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga-Ecuador. Docente Tiempo Completo del Departamento de Ciencias de la Computación de la ESPE Extensión Latacunga.



José Luis Carrillo, es graduado de la Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador en Ingeniería en Sistemas de Computación e Informática, cuenta con: un Diplomado en Gestión del Desarrollo de Software, un Masterado en Informática Aplicada en la Escuela Politécnica del Chimborazo, un Masterado en Investigación e Innovación en Tecnologías de Información y Comunicación en la Universidad Autónoma de Madrid, un Masterado en Ingeniería de Software en la Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga-Ecuador y un Doctorado en Ingeniería Informática y Telecomunicaciones en la Universidad Autónoma de Madrid. Docente Tiempo Completo del Departamento de Ciencias de la Computación de la ESPE Extensión Latacunga.



Marco Flores Calero, es Ingeniero Matemático por la Escuela Politécnica Nacional (Ecuador). Posteriormente obtuvo su grado de Magister en Estadística en la Pontificia Universidad Católica (Chile), luego realizó el doctorado en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automática en la Universidad Carlos III de Madrid (España). Actualmente es profesor titular en la Universidad de las Fuerzas Armadas (Ecuador) y consultor en varias empresas públicas y privadas. Además, ha publicado sus trabajos científicos en revistas de prestigio internacional en el área de Sistemas Inteligentes de Transporte, Inteligencia Artificial y Aprendizaje Automático.



Mario Matias Urbieto, se recibió de Doctor en Ciencias Informáticas en el año 2012 en la Universidad Nacional de La Plata, Argentina. Desde el año 2006 realiza tareas de investigación en el contexto del Laboratorio LIFIA. Su principal interés es la ingeniería de

requerimientos en aplicaciones Web, procesos de negocios y técnicas orientadas a aspectos. Tras haber adquirido su doctorado en el tópico de Funcionalidad Volátil, aún continúa desarrollando esa línea de investigación.