





# Guía para la adopción industrial de líneas de productos de software

---

Raúl Mazo  
-Editor-



Guía para la adopción industrial de líneas de productos de software / Anderson Cortés Tabares... [et al]; Raúl Mazo, editor. -- Medellín: Editorial EAFIT, 2018.

640 p. ; 24 cm. (Colección Académica)

ISBN 978-958-720-506-0

1. Industria de programas para computadores – Administración. II. Desarrollo de programas para computador. I. Cortés Tabares, Anderson. II. Mazo, Raúl, edit. III. Tít. IV. Serie

005.12 cd 23 ed.

G943

Universidad EAFIT - Centro Cultural Biblioteca Luis Echavarría Villegas

## Guía para la adopción industrial de líneas de productos de software

Primera edición: junio de 2018

© Raúl Mazo –Editor–

© Editorial EAFIT

Carrera 49 No. 7 sur - 50

Tel.: 261 95 23, Medellín

<http://www.eafit.edu.co/fondoeditorial>

Correo electrónico: [fonedit@eafit.edu.co](mailto:fonedit@eafit.edu.co)

ISBN: 978-958-720-506-0

Diseño y diagramación: Alina Giraldo Yepes

Imagen de carátula: 325277489, ©shutterstock.com

Universidad EAFIT | Vigilada Mineducación. Reconocimiento como Universidad: Decreto Número 759, del 6 de mayo de 1971, de la Presidencia de la República de Colombia. Reconocimiento personería jurídica: Número 75, del 28 de junio de 1960, expedida por la Gobernación de Antioquia. Acreditada institucionalmente por el Ministerio de Educación Nacional hasta el 2026, mediante Resolución 2158 emitida el 13 de febrero de 2018

Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio o con cualquier propósito, sin la autorización escrita de la editorial

Editado en Medellín, Colombia

# Contenido

---

Siglas y abreviaturas.....	9
----------------------------	---

## Presentación

<i>Raúl Mazo</i> .....	13
------------------------	----

## Parte 1. Introducción a las líneas de productos

1. Introducción a la ingeniería de líneas o familias de productos <i>Raúl Mazo</i> .....	21
2. Ejemplo de aplicación: línea de tiendas virtuales <i>León Jaramillo, Raúl Mazo, Gloria Giraldo</i> .....	33
3. Marco de referencia para la adopción y la gestión de líneas de productos de software <i>Raúl Mazo, Gonzalo Noreña, León Jaramillo, Daniel Correa</i> .....	39

## Parte 2. Alcance de una línea de productos

4. Estudio de mercado y de factibilidad para proyectos de líneas de productos <i>Raúl Mazo, Gloria Giraldo, Germán Urrego</i> .....	61
5. Plan estratégico de inversiones, costos y rentabilidad de una línea de productos de software <i>Raúl Mazo, Gloria Giraldo, Germán Urrego, León Jaramillo</i> .....	81
6. Definición incremental del catálogo de productos para una línea de productos <i>José Miguel García, Soledad García, Raúl Mazo</i> .....	131

### Parte 3. Ingeniería de dominio

7. Ingeniería de requisitos para familias de productos  
*Raúl Mazo, Samuel Sepúlveda, Ricardo Gacitúa, Carlos Cares* ..... 149
8. Definición de la arquitectura de referencia de un dominio: de la elucidación al modelado  
*Raúl Mazo, Mauricio Toro, Luz Cobaleda* ..... 193
9. Gestión de defectos en los modelos de variabilidad  
*Raúl Mazo, Luisa Rincón, Sebastián Monsalve* ..... 211
10. Análisis y diseño de componentes reutilizables de dominio  
*Luisa Rincón, Raúl Mazo* ..... 259
11. Implementación de componentes reutilizables de dominio  
*Daniel Correa, Raúl Mazo* ..... 307
12. Verificación y validación de componentes reutilizables de dominio  
*Daniel Correa, Raúl Mazo* ..... 369
13. Integración de los modelos de componentes con los modelos de variabilidad  
*Germán H. Alférez, Raúl Mazo* ..... 385

### Parte 4. Ingeniería de aplicaciones

14. Proceso de configuración como un proceso de ingeniería de requisitos  
*Raúl Mazo, Juan Carlos Martínez, José Ignacio López* ..... 397
15. Definición y personalización de la arquitectura de cada producto de la línea  
*Luz Cobaleda, Raúl Mazo* ..... 433
16. Selección, personalización y aumento de componentes reutilizables de dominio para cada aplicación  
*Luz Cobaleda, Raúl Mazo, Daniel Correa* ..... 447

17. Selección de los mecanismos de ensamblaje y ensamblaje de los componentes de aplicación <i>Daniel Correa, Raúl Mazo</i> .....	459
18. Pruebas de integración, del sistema, de certificación y de aceptación, de los productos derivados de una línea de productos <i>Anderson Cortés, Raúl Mazo, Daniel Correa</i> .....	481
 <b>Parte 5. Gestión técnica y organizacional</b>	
19. Gestión de la evolución de una línea de productos de software <i>Gonzalo Noreña, Raúl Mazo</i> .....	505
20. Gestión de la capitalización en la ingeniería de líneas de productos <i>Anderson Cortés, Gloria Giraldo, Raúl Mazo</i> .....	529
21. Aseguramiento de la calidad en los proyectos de líneas de productos <i>León Jaramillo, Rafael Rincón, Raúl Mazo, Gloria Giraldo</i> .....	547
22. Herramientas de soporte para la ingeniería de líneas de productos <i>Raúl Mazo, León Jaramillo, Miriam Delgado</i> .....	561
23. Glosario .....	591
 Referencias.....	 611
 Los autores.....	 633



## Siglas y abreviaturas

---

AA	Factor de evaluación y asimilación
AAF	Factor de ajuste de adaptación
AAM	Modificador de ajuste de adaptación
AFRAC	Fracción de software que se adapta para ser reutilizado
ALM	<i>Application Lifecycle Management</i>
AMW	ATLAS Model Weaver
AOP	Programación orientada a agentes ( <i>agent-oriented programming</i> )
BPMN	Modelos de procesos de negocios y notaciones
CA	Costos acumulados
CCC	Comité de control de cambios ( <i>change control board</i> )
CFP	Puntos de función de conversión ( <i>Conversion Function Point</i> )
COCOMO	<i>Constructive Cost Model</i>
COPLIMO	<i>Constructive Product Line Invested Model</i>
CORBA	<i>Common Object Request Broker Architecture</i>
COTS	<i>Commercial off-the-shelf</i>
DET	Elementos de tipo dato ( <i>Data Element Type</i> )
DM	Diseño modificado
DOCU	<i>Degree of documentation</i>
DOP	Programación orientada a deltas ( <i>Delta Oriented Programming</i> )
EC	Efectos colaterales
EFQM	Fundación Europea para la Gestión de la Calidad ( <i>European Foundation for Quality Management</i> )
EI	Entradas externas ( <i>External Input</i> )
EIF	Archivos de interfaz externos ( <i>External Interface Files</i> )
EJB	<i>Enterprise Java Beans</i>
EO	Salidas externas ( <i>External Output</i> )
EQ	Consultas externas ( <i>External Inquires</i> )
FAM	Modelo de ensamblaje de características
FIPA	<i>Foundation for Intelligent Physical Agents</i>

FMP	<i>Feature Modeling Plug-in</i>
FODA	<i>Feature-Oriented Domain Analysis</i>
FOP	Programación orientada a características
FTR	Archivos tipo referencia ( <i>Files Type Reference</i> )
GHM	Grado de homogeneidad del modelo
GQM	Goal/Question/Metric
GRC	Grado de reusabilidad de una característica
GSM	Grado de similitud del modelo
GSN	<i>Goal Structuring Notation</i>
GUI	Interfaz gráfica de usuario
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IFPUG	International Function Point Users Group
ILF	Archivos lógicos internos ( <i>Internal Logical Files</i> )
ILP	Ingeniería de líneas de productos ( <i>product line engineering</i> )
ILPS	Ingeniería de líneas de productos de software
IM	Esfuerzo de integración
IR	Ingeniería de requisitos ( <i>requirements engineering</i> )
ISO	International Organization for Standardization
JADE	<i>Java Agent Development Framework</i>
JEE)	<i>Java Enterprise Edition</i>
LP	Líneas de productos
LPS	Línea de productos de software
MBSE	<i>Model-Based Software Engineering</i>
MCS	Subconjuntos mínimos de corrección ( <i>minimal correction subsets</i> )
MDA	Arquitectura dirigida por modelos
Multi BOM	<i>Multi Bill of Materials</i>
MUS	Subconjuntos mínimos irresolubles ( <i>minimal unsatisfiable subsets</i> )
MV	Modelo de variabilidad ( <i>variability model</i> )
MVC	Modelo Vista Control
NP	Número de productos
ODE	Motor director de orquestación ( <i>Orchestration Director Engine</i> )
OOB, POO	Programación orientada a objetos ( <i>object-oriented programming</i> )
PCI	<i>Payment Card Industry</i>
PERT	<i>Program Evaluation and Review Technique</i>

PFRAC	Fracción de software que se hace para ser reutilizado
PHP	Hypertext Preprocessor
PIB	Producto interno bruto
PLM	<i>Product Lifecycle Management</i>
POA	Programación orientada a aspectos ( <i>aspect-oriented programming</i> )
PPC	Publicar producto complejo
PPS	Publicar producto simple
PTC	<i>Parametric Technology Corporation</i>
qCOPLIMO	<i>Quality-based cost estimation model</i>
RCR	Costo relativo de reutilización ( <i>Relative cost of reuse</i> )
RCWR	Costo relativo de construir software para la reutilización ( <i>Relative cost of writing for reuse</i> )
RELY	<i>Required reliability</i>
REST	Transferencia de estado representacional ( <i>representational state transfer</i> )
RET	Elementos tipo registro ( <i>Record Element Type</i> )
RFRAC	Fracción de software que se reutiliza sin ser modificado
RIA	Aplicaciones de internet enriquecidas ( <i>rich internet application</i> )
ROI, RSI	Retorno sobre la inversión ( <i>return on investment</i> )
RUSE	<i>Development for reuse</i>
SEI	Software Engineering Institute
SGBD	Sistema Gestor de Bases de Datos
SIMPLE	Modelo intuitivo y estructurado para la economía de líneas de productos (Structured Intuitive Model for Product Line Economics)
SLOC	Líneas de código fuente ( <i>Source Lines of Code</i> )
SOA	Arquitectura orientada a servicios ( <i>services oriented architecture</i> )
SOAP	<i>Simple Object Access Protocol</i>
SPLOT	<i>Software Product Lines Online Tools</i>
SRI	Sistema de referencia inercial
SU	Entendimiento del software ( <i>Software Understandability</i> )
TAW	Test de accesibilidad web
UDDI	<i>Universal Description, Discovery and Integration</i>
UI	Interfaz de usuario ( <i>User Interface</i> )

UNFM	No familiaridad del programador con el software ( <i>Programmer Unfamiliarity</i> )
UPS	United Parcel Service
VAF	Factor de ajuste de valor ( <i>Value Adjustment Factor</i> )
VLCT	<i>Very Large Commercial Transport</i>
WSDL	<i>Web Services Description Language</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i>

# Presentación

---

Los conceptos esenciales de la ingeniería de líneas de productos, los conocimientos necesarios, los modelos y los métodos utilizados para el desarrollo de las líneas de productos son introducidos en esta guía en forma gradual y simple. El lector, no obstante, podrá ir directamente a las secciones y capítulos específicos de acuerdo con su interés y conocimiento de este campo de la ingeniería.

Existen en la literatura otros trabajos que han ayudado parcialmente y que han aportado en temas específicos al desarrollo de las líneas de productos. Esos trabajos han sido escritos sobre todo en inglés y las pocas obras existentes en español son fruto de trabajos de investigaciones en un tema particular de la ingeniería de líneas de productos. Para unificar los conceptos y los términos que los expresan, comenzamos con una guía de lectura que muestra y explica las diferentes maneras de leer el libro, y un ejemplo de base correspondiente a una línea real de tiendas virtuales que nos ayudará a explicar y a ejemplificar las soluciones aportadas en cada uno de los capítulos de la guía. Al final del libro presentamos un glosario unificado sobre la ingeniería de líneas de productos, el cual es usado en todos los capítulos.

## Organización general

La guía está compuesta de cinco secciones: “Introducción a las líneas de productos”, “Alcance de una línea de productos”, “Ingeniería de dominio”, “Ingeniería de aplicaciones” y “Gestión técnica y organizacional”. En total son 22 capítulos. El contenido de cada capítulo está organizado de la siguiente manera: 1) el problema de ingeniería a abordar en el capítulo, 2) una presentación de las posibles soluciones, y 3) por lo menos un ejemplo de cómo se aplican dichas soluciones a nuestro ejemplo de base.

La “Introducción a las líneas de productos” es la primera parte y contiene tres capítulos. El capítulo 1 presenta los conceptos básicos de la ingeniería de líneas, o familia, de productos, con el fin de que tanto los conocedores como los novatos en estos temas puedan estructurar sus

conocimientos sobre las mismas bases. La aplicación de los conceptos esenciales se ilustra en el capítulo 2 con el ejemplo de una línea de tiendas virtuales (*eShop*) que usaremos para ejemplificar cada una de las soluciones propuestas en este manuscrito. Dado que un ejemplo de referencia no es suficiente para consolidar una visión unificada de la adopción de las líneas de productos de software a nivel industrial, el capítulo 3 complementa nuestra propuesta con un marco de referencia para la adopción de líneas de productos de software. En el mismo capítulo, el marco de referencia es desarrollado a grandes rasgos con el fin de ilustrar el conocimiento necesario para adentrarse en las fases del desarrollo de las líneas de productos de software. Cada uno de los grandes procesos presentados en el marco de referencia son detallados en cada una de las secciones restantes del libro: “Alcance y análisis preliminar”, “Ingeniería de dominio”, “Ingeniería de aplicaciones” y “Gestión técnica y organizacional”.

La segunda parte corresponde al “Alcance de una línea de productos” y desarrolla este tema a lo largo de tres capítulos. El capítulo 4 enseña a definir los objetivos y a hacer el estudio de factibilidad técnica y económica de los proyectos de desarrollo de líneas de productos. El capítulo 5 ofrece los elementos de costos, rentabilidad, y de elaboración de planes estratégicos de inversión que se deben hacer en antelación a todo proyecto de adopción de la estrategia de líneas de productos. El capítulo 6 orienta al lector en la definición de los primeros productos que deben ser considerados en el portafolio preliminar de productos, el cual será actualizado de manera incremental cada vez que se vayan derivando nuevos productos de la línea.

La tercera parte contiene siete capítulos en los cuales se desarrolla cada uno de los procesos necesarios para hacer la ingeniería de dominio en el marco de la implementación industrial de líneas de productos. En el capítulo 7 se describe el proceso de ingeniería de requisitos de variabilidad, desde la educación hasta el modelado y gestión de estos requisitos, y se muestran diferentes alternativas para implementar dicho proceso. El capítulo 8 enseña a definir una arquitectura de referencia a nivel del dominio que pueda ser reutilizable por todos los productos de la línea. Este capítulo contempla todas las actividades necesarias para definir dicha arquitectura configurable. Los subprocesos de verificación, diagnóstico y corrección de defectos de los modelos generados en los capítulos uno y dos de esta parte se detallan en el capítulo tres. Además, el capí-

tulo 9 explica y muestra cómo hacer el proceso de transformación de los modelos de variabilidad hacia un lenguaje que pueda ser ejecutado por un computador con el fin de automatizar los procesos de análisis, verificación, diagnóstico y corrección de los defectos que puedan tener dichos modelos. Para continuar con el proceso de ingeniería de dominio, los capítulos 10 a 13 muestran cómo diseñar, implementar y relacionar los componentes de dominio con los requisitos de variabilidad de acuerdo a los modelos definidos en los capítulos precedentes. En el capítulo 10 se muestra como hacer la ingeniería de requisitos de los componentes reutilizables de dominio con el fin de implementar los requisitos representados en los modelos a variabilidad. El capítulo 11 muestra cómo implementar componentes reutilizables de dominio. Los procesos de verificación y validación de los componentes reutilizables de dominio son el objeto del capítulo 12. Una vez terminadas las etapas del diseño y de la implementación del dominio, es necesario hacer la integración de los modelos resultantes de cada etapa. Por tal motivo, el capítulo 13 introduce algunas alternativas para definir e implementar la integración entre dichos modelos y muestra cómo aplicar cada una de ellas.

La cuarta parte de esta guía contiene cinco capítulos en los cuales se presentan los diferentes procesos relacionados con la ingeniería de aplicaciones. El capítulo 14 de esta parte muestra un panorama del proceso de configuración y cómo este proceso puede ser tratado como un proceso de ingeniería de requisitos. La selección de una arquitectura para las aplicaciones en construcción a partir de la arquitectura de referencia, y el mejoramiento y la personalización de la arquitectura resultante son el tema del capítulo 15. El capítulo 16 comprende la selección, personalización, y aumentación de los componentes reutilizables con miras a seleccionar los componentes reutilizables de dominio que serán usados para implementar los nuevos productos, completar y mejorar las funcionalidades de esos componentes, hacer que se ajusten a la arquitectura definida previamente para facilitar su mantenimiento, definir los componentes correspondientes a los requisitos que no fueron tenidos en cuenta a nivel del dominio y definir los modelos de los nuevos productos a derivar. El capítulo 17 enseña, desde el punto de vista de los desarrolladores, a implementar todas las personalizaciones y aumentos que se hicieron a nivel de la arquitectura y de los componentes y muestra cómo, a partir de las implementaciones, se debe definir e implementar un proceso de ensamblaje con el

fin de construir la primera versión funcional de cada producto a derivar. Las consideraciones en torno a las pruebas de integración, de sistemas, de certificación y de aceptación de los productos derivados de una línea de productos son tratadas en el capítulo 18.

La quinta parte se llama “Gestión técnica y organizacional” y muestra, a través de cuatro capítulos, cómo hacer la gestión de recursos técnicos y de los procesos de la organización con el fin de garantizar una evolución duradera y coherente de la línea de productos en su conjunto. El capítulo 19 abarca el panorama de la gestión de la evolución y los procesos asociados. El capítulo 20 presenta el proceso de gestión de la capitalización en la ingeniería de líneas de productos. El capítulo 21 muestra el proceso de aseguramiento de la calidad en los proyectos de líneas de productos; y para terminar, el capítulo 22 presenta un panorama de algunas herramientas existentes en el mercado para soportar los procesos en las diferentes fases del ciclo de vida de las líneas de productos, compara las diferentes propuestas y muestra cómo usar varias de esas herramientas.

## Objetivos de la guía

### Objetivo general

Aportar a la comunidad empresarial, tecnológica, académica y científica los fundamentos teóricos, los métodos (es decir, los modelos, procesos y herramientas), las guías metodológicas y algunas ayudas para el diseño, el desarrollo y la evolución de líneas de productos de software en todas las fases del ciclo de vida de este nuevo paradigma de producción.

### Objetivos específicos

1. Presentar a la comunidad académica, tecnológica, y empresarial de habla hispana una guía homogénea y condensada para comprender los fundamentos de la ingeniería de líneas de productos de software.
2. Establecer las bases para la formación del recurso humano que debe participar en el desarrollo de las líneas de productos en las empresas de software.
3. Crear una base sólida para el desarrollo de líneas de productos con el propósito de impulsar la industrialización de la producción de software.
4. Motivar al sector industrial para la adopción del enfoque de líneas de productos mediante una guía que, a diferencia de los libros académi-

cos o de investigación, muestre diferentes alternativas para implementar líneas de productos de software paso a paso y de principio a fin.

5. Facilitar la construcción y la mejora de herramientas, y de procesos técnicos y organizacionales para ayudar a la industria del software a capitalizar sus activos de software y a reutilizarlos para crear nuevos, y a veces innovadores, productos.

6. Contribuir a la conformación y fortalecimiento de una comunidad académico - industrial que impulse el desarrollo de la ingeniería de líneas de productos.

7. Hacer efectiva y visible la participación de la comunidad de habla hispana en el desarrollo de la ingeniería de software a nivel mundial.

## Público objetivo y recomendaciones finales

La guía está dirigida a empresarios, ingenieros, desarrolladores y técnicos que pretendan implementar líneas de productos de software; además de directores y personal de la organización de las áreas de gestión de la información y de desarrollo de nuevos productos. Este libro también está dirigido a profesores que quieran enseñar los fundamentos de este prometedor paradigma de producción de software, y a los investigadores, académicos y estudiantes que quieran aprender a adoptar este paradigma en una organización, o hacer estudios empíricos relacionados con la implementación industrial de líneas de productos de software.

Estimado lector, conforme a la guía de lectura sugerida en estos párrafos, usted puede conectar sus intereses previos en la ingeniería de líneas de productos con los temas planteados en los capítulos de la guía para percibir que lo que inicialmente busca lo va a encontrar en estas páginas. Satisfecha esta primera inquietud, encontrará que es de gran valor realizar el estudio de la guía siguiendo el ordenamiento propuesto de secciones y capítulos. Quien tenga mayores conocimientos en los temas podrá avanzar más rápido, pero vale la pena leer, practicar y reflexionar sobre todos los contenidos. Quienes ya hayan decidido implementar una línea de productos de software y tengan claro los objetivos, el mercado, los beneficios y los riesgos asociados con este tipo de proyectos pueden comenzar directamente en la parte que corresponda al estado de desarrollo de su línea de productos. Háganos conocer sus experiencias en el estudio y aplicación de la guía que tiene en sus manos con el fin de ayudarlos

en sus procesos y para mejorar las futuras ediciones. Para tal efecto, las direcciones de contacto son las siguientes: [rimazop@eafit.edu.co](mailto:rimazop@eafit.edu.co), [raul.mazo@univ-paris1.fr](mailto:raul.mazo@univ-paris1.fr)

*Raúl Mazo*