

Análisis de integración de soluciones basadas en *software* como servicio para la implantación de Ecosistemas Tecnológicos Educativos

Tesis doctoral

Doctoranda

Alicia García Holgado

Director

Francisco José García Peñalvo



VNiVERSiDAD
D SALAMANCA

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL



Análisis de integración de soluciones basadas en *software* como servicio para la implantación de Ecosistemas Tecnológicos Educativos

Tesis doctoral

Doctoranda

Alicia García Holgado

Director

Francisco José García Peñalvo

Septiembre 2018

Análisis de integración de soluciones basadas en *software* como servicio para la implantación de Ecosistemas Tecnológicos Educativos

Tesis doctoral

Director

Francisco José García Peñalvo

Doctoranda

Alicia García Holgado

Septiembre 2018

D. Francisco José García Peñalvo, Catedrático de Universidad del Departamento de Informática y Automática de la Universidad de Salamanca, en calidad de director del trabajo de tesis doctoral titulado “Análisis de integración de soluciones basadas en software como servicio para la implantación de Ecosistemas Tecnológicos Educativos” y realizado por Dña. Alicia García Holgado

HACE CONSTAR

Que dicho trabajo tiene suficientes méritos teóricos contrastados adecuadamente mediante las validaciones oportunas, publicaciones relacionadas y aportaciones novedosas. Por todo ello considera que procede su defensa pública.

En Salamanca, a 2 de julio de 2018.

Dr. D. Francisco José García Peñalvo

Universidad de Salamanca

Cita recomendada:

A. García-Holgado. "Análisis de integración de soluciones basadas en software como servicio para la implantación de Ecosistemas Tecnológicos Educativos" Tesis doctoral, Programa de Doctorado en Formación en la Sociedad del Conocimiento, Universidad de Salamanca, Salamanca, España, 2018.

Diseño:

Diseño basado en el logotipo diseñado por Felicidad García Sánchez para el proyecto *Digital Ecosystem Framework for an Interoperable NEtwork-based Society* (DEFINES).

Agradecimientos

Esta investigación ha sido posible gracias al apoyo de mi grupo de investigación y de todos aquellos compañeros y compañeras que habéis formado parte de mi recorrido como investigadora. Gracias por permitirme aprender de vosotros tanto a nivel personal como profesional.

En especial quiero dar las gracias a mi director de tesis. Su paciencia y su forma de orientarme a lo largo de este primer tramo del camino han logrado que culmine este trabajo de investigación que tan lejos veía. Gracias por estar siempre.

Agradecer también a mi familia y amigos, pero muy en especial a mi hermana, que siempre me ha apoyado y cuidado, incluso cuando estuve lejos en México, ella siempre estaba presente.

No puedo olvidar dar las gracias a todas las personas que formaron parte de mi estancia en México. Mención especial a Marisol, Martín, Elvira, Leo y Laura, nada hubiera sido lo mismo sin vosotros.

Por último, dar las gracias a la persona que ha sufrido en casa los últimos años de un proceso tan arduo. Gracias por todo el apoyo que me has dado, a pesar de que no te lo he puesto nada fácil.

Resumen

Una de las principales características de la actual Sociedad del Conocimiento reside en el valor del conocimiento como un recurso activo en cualquier tipo de entidad, desde instituciones educativas hasta grandes corporaciones empresariales. La gestión del conocimiento surge como una ventaja competitiva de tal forma que las entidades dedican parte de sus recursos a desarrollar su capacidad para compartir, crear y aplicar nuevos conocimientos de forma continuada a lo largo del tiempo.

La tecnología, considerada el motor, el elemento central, en la Sociedad de la Información, pasa a convertirse en un soporte para el aprendizaje, para la transformación de conocimiento tácito en explícito, de conocimiento individual en grupal. Internet, las tecnologías de la información y la comunicación y, en particular, los sistemas de información pasan de ser elementos que guían el desarrollo de la sociedad a ser herramientas cuyo desarrollo está guiado por las necesidades de gestión del conocimiento y los procesos de aprendizaje.

Los ecosistemas tecnológicos, considerados como la evolución de los sistemas de información tradicionales, se posicionan como sistemas de gestión del conocimiento que abarcan tanto la componente tecnológica como el factor humano. En el caso de que la gestión del conocimiento esté dirigida a apoyar fundamentalmente procesos de aprendizaje, el ecosistema tecnológico se puede denominar ecosistema de aprendizaje.

La metáfora de ecosistema, que proviene del área de la biología, se utiliza en diferentes contextos para transmitir la naturaleza evolutiva de procesos, actividades y relaciones. El uso del concepto ecosistema natural se aplica al ámbito tecnológico para reflejar un conjunto de características o propiedades de los ecosistemas naturales que pueden transferirse a los ecosistemas tecnológicos o ecosistemas *software* con el fin de proporcionar soluciones, las cuales deben estar orientadas a resolver los problemas de gestión del conocimiento. A su vez, estas soluciones tienen que adaptarse a los constantes cambios que sufre cualquier tipo de entidad o contexto en el que se despliega algún tipo de solución tecnológica.

A pesar de las ventajas que ofrecen los ecosistemas tecnológicos, el desarrollo de este tipo de soluciones tiene una mayor complejidad que los sistemas de información tradicionales. A los problemas propios de la ingeniería del *software*, tales como la interoperabilidad de los componentes o la evolución del ecosistema, se unen la

dificultad de gestionar un conocimiento complejo y la diversidad de personas involucradas.

Los diferentes retos y problemas de los ecosistemas tecnológicos, y en particular de aquellos centrados en gestionar el conocimiento y el aprendizaje, requieren mejorar los procesos de definición y desarrollo de este tipo de soluciones tecnológicas.

La presente tesis doctoral se centra en proporcionar un marco arquitectónico que permita mejorar la definición, el desarrollo y la sostenibilidad de los ecosistemas tecnológicos para el aprendizaje. Dicho marco estará compuesto, principalmente, por dos resultados asociados a esta investigación: un patrón arquitectónico que permita resolver los problemas detectados en ecosistemas de aprendizaje reales y un metamodelo de ecosistema de aprendizaje, basado en el patrón, que permita aplicar Ingeniería Dirigida por Modelos para sustentar la definición y el desarrollo de los ecosistemas de aprendizaje.

Para llevar a cabo la investigación se han definido tres ciclos siguiendo el marco metodológico Investigación-Acción. El primer ciclo se ha centrado en el análisis de varios casos de estudio reales con el fin de obtener un modelo de dominio del problema. Se han analizado ecosistemas tecnológicos para la gestión del conocimiento y el aprendizaje desplegados en contextos heterogéneos, en particular, la Universidad de Salamanca, el grupo de investigación GRIAL y el proyecto europeo TRAILER (centrado en gestionar el conocimiento informal en instituciones y empresas). Como resultado de este ciclo se han detectado una serie de características que debe tener un ecosistema tecnológico y se ha definido un patrón arquitectónico que permite sentar las bases del ecosistema, dando solución a algunos de los problemas detectados y asegurando la flexibilidad y adaptabilidad de los componentes del ecosistema con el fin de permitir su evolución.

El segundo ciclo se ha centrado en la mejora y validación del patrón arquitectónico. Los problemas detectados en el ciclo anterior se han modelado con la notación *Business Process Model and Notation*. Para ello, se han agrupado los problemas relacionados con procesos de gestión del conocimiento similares y posteriormente se ha realizado para cada conjunto de problemas un diagrama con un alto nivel de abstracción. Después, para cada uno de los diagramas, se han identificado una vez más los problemas a resolver y se ha definido un nuevo diagrama aplicando el patrón. Esto ha permitido validar el patrón arquitectónico y sentar las bases para su formalización.

Por último, el tercer ciclo ha planteado el Desarrollo Dirigido por Modelos de ecosistemas tecnológicos para la gestión del conocimiento y el aprendizaje. En concreto, se ha definido un metamodelo de ecosistema de aprendizaje basado en el patrón arquitectónico planteado en el ciclo anterior. El metamodelo se ha validado a través de una serie de transformaciones modelo a modelo automatizadas mediante reglas de transformación. Para poder llevar a cabo dicho proceso, se ha definido un metamodelo específico de plataforma que proporciona un conjunto de recomendaciones, tanto tecnológicas como humanas, para implementar ecosistemas de aprendizaje basados en *software open source*.

El metamodelo de ecosistema de aprendizaje y el metamodelo específico de plataforma para definir ecosistemas basados en *software open source* proporcionan las guías necesarias para definir ecosistemas de aprendizaje que resuelvan los principales problemas detectados en este tipo de soluciones *software*.

Los tres casos de estudio reales que se han desarrollado para validar los resultados obtenidos a lo largo de los ciclos de Investigación-Acción, en especial, el patrón arquitectónico para modelar ecosistemas de aprendizaje, el metamodelo de ecosistema de aprendizaje y el metamodelo específico de plataforma para definir ecosistemas basados en *software open source*, permiten afirmar, como conclusión más general, que es posible mejorar la definición y el desarrollo de los ecosistemas tecnológicos enfocados en gestionar el conocimiento y los procesos de aprendizaje. Más concretamente, el uso de ingeniería dirigida por modelos, sustentada sobre una sólida propuesta arquitectónica, permite definir ecosistemas de aprendizaje que evolucionan y se adaptan a las necesidades cambiantes del entorno y de los usuarios, así como resolver un conjunto de problemas comunes identificado en este tipo de soluciones tecnológicas.

Palabras clave: Ecosistema Tecnológico, Ecosistema *Software*, Ecosistema de Aprendizaje, Sistemas de Información, Gestión del Conocimiento, Desarrollo Dirigido por Modelos, Patrón Arquitectónico, Factor Humano.

Abstract

One of the main characteristics of the current Knowledge Society lies in the value of knowledge as an active resource in any kind of entity, from educational institutions to large corporate companies. Knowledge management emerges as a competitive advantage in such a way that entities allocate part of their resources to develop their capacity to share, create and apply new knowledges continuously over time.

Technology, considered the engine, the core element, in the Information Society, becomes a support for learning, for the transformation of tacit knowledge into explicit, and also individual knowledge into group one. Internet, information and communication technologies and in particular the information systems go from being elements that guide the development of society to being tools whose development is guided by the needs of knowledge management and learning processes.

The technological ecosystems, considered the evolution of the traditional information systems, are positioned as knowledge management systems that encompass both the technological component and the human factor. In the case that knowledge management is aimed at fundamentally supporting learning processes, the technological ecosystem might be called learning ecosystem.

The metaphor of ecosystems, which comes from the biology area, is used in different contexts to convey the evolutionary nature of processes, activities and relationships. The use of the natural ecosystem concept is applied to the technological field to reflect a set of characteristics or properties of natural ecosystems that can be transferred to technological ecosystems or software ecosystems in order to provide solutions that allow solving knowledge management problems, and which adapt to the constant changes suffered by any kind of entity or context in which some type of technological solution is deployed.

Despite the advantages offered by technological ecosystems, the development of this type of solutions has greater complexity than traditional information systems. The problems inherent to software engineering, such as the interoperability between components or the evolution of the ecosystem, are combined with the difficulty of managing complex knowledge and the diversity of people involved.

The different challenges and problems of technological ecosystems, primarily those focused on managing knowledge and learning, require improving the definition and development processes of this type of technological solutions.

The present PhD thesis focuses on providing an architectural framework that allows improving the definition, development and sustainability of technological ecosystems for learning. This framework will be composed, mainly, of two results associated with this research; an architectural pattern that allows to solve the problems detected in real learning ecosystems and a learning ecosystem metamodel, based on the pattern, that allows to apply Model Driven Engineering to sustain the definition and development of learning ecosystems.

To carry out the research, three cycles have been defined following the Action-Research methodological framework. The first cycle was focused on the analysis of several real case studies in order to obtain a domain model of the problem. Technological ecosystems for knowledge and learning management deployed in heterogeneous contexts have been analyzed, in particular, the University of Salamanca, the GRIAL research group and the European project TRAILER (focused on managing informal learning at institutions and companies). As a result of this cycle, a set of characteristics that a technological ecosystem must consider was detected and an architectural pattern was defined. The pattern allows laying the foundations of the ecosystem, giving solution to some of the detected problems and ensuring the flexibility and adaptability of the components of the ecosystem in order to allow its evolution.

The second cycle was focused on the improvement and validation of the architectural pattern. The problems detected in the previous cycle was modeled using Business Process Model and Notation. To do this, the problems related to similar knowledge management processes was clustered and a diagram with a high abstraction level was made for each cluster of problems. Then, for each diagram, once again the problems to be solved was identified and a new diagram was defined applying the pattern. This allowed to validate the architectural pattern and lay the foundations for its formalization.

Finally, the third cycle raised the Model Driven Development of technological ecosystems for the knowledge and learning management. In particular, a learning ecosystem metamodel, based on the architectural pattern specified in the previous cycle, was defined. The metamodel was validated through a set of model-to-model

transformations automated through transformation rules. In order to carry out this process, a platform specific metamodel was defined. This metamodel provides a set of recommendations, both technological and human, to implement learning ecosystems based on open source software.

The learning ecosystem metamodel and the platform specific metamodel to define ecosystems based on open source software provide the necessary guides to model learning ecosystems that solve the main problems detected in this type of software solutions.

The three real case studies that were developed to validate the results obtained during the Action-Research cycles, especially the architectural pattern to define learning ecosystems, the learning ecosystem metamodel and the platform specific metamodel to model ecosystems based on open source software, allow us to conclude that it is possible to improve the definition and development of technological ecosystems focused on knowledge and learning processes management. More specifically, the use of model-driven engineering, based on a solid architectural proposal, allows defining learning ecosystems that evolve and adapt to the changing needs of the environment and users, as well as solving a set of common problems identified in this type of technological solutions.

Keywords: Technological Ecosystem, Software Ecosystem, Learning Ecosystem, Information Systems, Knowledge Management, Model Driven Development, Architectural Pattern, Human Factor.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Contexto de la investigación	2
1.2 Hipótesis y objetivos	6
1.3 Metodología	8
1.3.1 Aplicación de la metodología Investigación-Acción	11
1.3.2 Metodología <i>Systematic Literature Review (SLR)</i>	15
1.3.3 Scrum	17
1.4 Marco de trabajo	20
1.5 Estructura del documento	24
1.6 Conclusiones	25
CAPÍTULO 2 LOS ECOSISTEMAS TECNOLÓGICOS	29
2.1 Gestión del conocimiento	30
2.1.1 Ciclo de vida del conocimiento	32
2.1.2 Sistemas de gestión del conocimiento	33
2.1.3 Ecología del aprendizaje	36
2.2 Definición de ecosistema tecnológico	37
2.3 Naturaleza vs. tecnología	40
2.3.1 Definición de ecosistema natural	40
2.3.2 Especies y hábitat digital	41
2.3.3 Las personas como generadores de cambio	43
2.3.4 Evolución de los ecosistemas	45
2.4 Conclusiones	46
CAPÍTULO 3 SLR DE LAS SOLUCIONES ARQUITECTÓNICAS DE LOS ECOSISTEMAS TECNOLÓGICOS	49
3.1 Planificación de la investigación	51
3.1.1 Identificación de la necesidad de una revisión	51
3.1.2 Preguntas de investigación	57
3.1.3 Criterios de inclusión y exclusión	58
3.1.4 Estrategia de búsqueda	59
3.1.5 Cadenas de búsqueda	60
3.1.6 Criterios para la evaluación de la calidad	61
3.1.7 Extracción de datos	62
3.2 Resultados del mapeo sistemático	66
3.2.1 MQ1. ¿Cuántos estudios se han publicado a lo largo de los años?	66
3.2.2 MQ2. ¿Cuáles son los autores más prolíficos en el área?	67
3.2.3 MQ3. ¿Qué tipo de publicaciones son las más habituales en la producción científica en el área?	67
3.2.4 MQ4. ¿En qué bases de datos es habitual encontrar la producción científica en el área?	68

3.2.5 MQ5. ¿Cuáles son los términos utilizados para hablar de ecosistemas en el ámbito de la ingeniería del <i>software</i> y en qué proporción se utilizan?	69
3.2.6 MQ6. ¿En qué dominios se aplican las soluciones encontradas?	70
3.2.7 MQ7. ¿Cuántos estudios proponen arquitecturas <i>software</i> para desarrollar ecosistemas tecnológicos?	72
3.2.8 MQ8. ¿Cuántos estudios proponen ingeniería dirigida por modelos para desarrollar ecosistemas tecnológicos?	72
3.2.9 MQ9. ¿Cuántas soluciones se han aplicado en ecosistemas tecnológicos reales?	72
3.3 Resultados de la revisión sistemática	73
3.3.1 IQ1. ¿qué tipo de propuestas de arquitecturas <i>software</i> existen para mejorar el desarrollo de los ecosistemas tecnológicos?	73
3.3.2 IQ2. ¿qué tipo de propuestas de ingeniería dirigida por modelos existen para mejorar el desarrollo de los ecosistemas tecnológicos?	81
3.3.3 IQ3. ¿cómo las soluciones propuestas tratan el desarrollo de los ecosistemas tecnológicos?	86
3.4 Discusión	87
3.5 Amenazas a la validez del estudio	90
3.5.1 Validez del constructo	91
3.5.2 Validez interna	91
3.5.3 Validez de las conclusiones	92
3.5 Conclusiones	92
CAPÍTULO 4 PATRÓN ARQUITECTÓNICO PARA LA DEFINICIÓN DE ECOSISTEMAS DE APRENDIZAJE	97
4.1 Análisis de ecosistemas reales	99
4.1.1 Casos de estudio	101
4.1.1.1 Ecosistema de aprendizaje de la Universidad de Salamanca	101
4.1.1.2 Ecosistema para la gestión del conocimiento de GRIAL	107
4.1.1.3 Ecosistema para la gestión del aprendizaje informal (TRAILER)	113
4.1.2 Análisis comparativo de los ecosistemas tecnológicos	119
4.2 Características de los ecosistemas tecnológicos	124
4.3 Definición del patrón arquitectónico	125
4.4 Validación del patrón arquitectónico	131
4.4.1 Metodología para la validación del patrón	132
4.4.2 Análisis de los procesos de gestión del conocimiento en ecosistemas tecnológicos reales	133
4.4.3 Aplicación del patrón a los procesos de gestión del conocimiento	138
4.4.4 Aplicación del patrón validado en casos reales	142
4.4.4.1 Ecosistema para la gestión del conocimiento en la Administración Pública	143
4.4.4.2 Ecosistema para la gestión del conocimiento en un Programa de Doctorado	147
4.4.4.3 Ecosistema para dar voz a los jóvenes	152
4.5 Conclusiones	156

CAPÍTULO 5 METAMODELO PARA LA DEFINICIÓN DE ECOSISTEMAS DE APRENDIZAJE	159
5.1 Desarrollo dirigido por modelos	161
5.2 Definición del metamodelo	164
5.2.1 Descripción del metamodelo en MOF	165
5.2.2 Restricciones OCL del metamodelo en MOF	168
5.2.3 Casos de estudio	169
5.2.3.1 Ecosistema para la gestión del conocimiento en un Programa de Doctorado	170
5.2.3.2 Ecosistema para la gestión del conocimiento en la Administración Pública	174
5.3 Validación y aseguramiento de la calidad del metamodelo	178
5.3.1 Metodología	179
5.3.2 Metamodelo Ecore	182
5.3.3 Metamodelo específico de plataforma para ecosistemas de aprendizaje	188
5.3.4 Transformación de PIM a PSM	191
5.3.5 Caso de estudio	194
5.3.6 Calidad de los metamodelos	195
5.4 Conclusiones	198
CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES	201
6.1 Resumen del trabajo realizado	202
6.2 Conclusiones	204
6.3 Líneas futuras de investigación	208
6.4 Resultados asociados	209
APÉNDICE A REVISIÓN SISTEMÁTICA DE SLR RELACIONADOS CON ECOSISTEMAS TECNOLÓGICOS	223
A.1 Preguntas de investigación	223
A.2 Criterios de inclusión y exclusión	223
A.3 Estrategia de búsqueda	224
A.4 Cadenas de búsqueda	225
A.5 Proceso de revisión	226
APÉNDICE B ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ECOSISTEMAS TECNOLÓGICOS	231
REFERENCIAS	239

Índice de Figuras

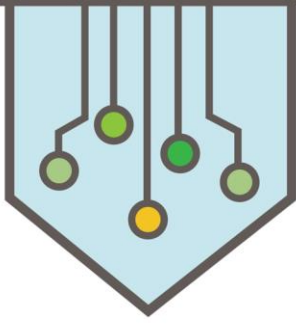
FIGURA 1. CICLOS INVESTIGACIÓN-ACCIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	10
FIGURA 2. DESCRIPCIÓN DE LOS CICLOS INVESTIGACIÓN-ACCIÓN Y LAS DIFERENTES ETAPAS DE CADA CICLO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	12
FIGURA 3. SCRUM FRAMEWORK. FUENTE: ADAPTADO DE [99].....	19
FIGURA 4. MODELO SECI. FUENTE: BASADO EN [164].....	33
FIGURA 5. MODELO SURICATA. FUENTE: [170, 173]	34
FIGURA 6. FLUJO DEL CONOCIMIENTO EN EL MODELO DE ESPIRALES DE CONOCIMIENTO EN INNOVACIÓN DOCENTE EN EDUCACIÓN SUPERIOR. FUENTE: [4]	35
FIGURA 7. COMPONENTES E INTERACCIÓN EN UNA ECOLOGÍA DE APRENDIZAJE. FUENTE: [40]	36
FIGURA 8. ECOSISTEMA NATURAL VERSUS ECOSISTEMA SOFTWARE SEGÚN MENS. FUENTE: [35, 220]	42
FIGURA 9. ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN-ACCIÓN QUE ABARCA LA SLR. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	50
FIGURA 10. FASES DEL MAPEO Y LA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA ...	51
FIGURA 11. FLUJO PRISMA. FUENTE: ADAPTADO DE [252]	65
FIGURA 12. MQ1 – GRÁFICO CON EL NÚMERO DE PUBLICACIONES POR AÑO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	66
FIGURA 13. MQ3 – GRÁFICO CON LOS TIPOS DE PUBLICACIONES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	68
FIGURA 14. MQ5 – GRÁFICO CON LA FRECUENCIA DE USO DE CADA UNO DE LOS TÉRMINOS UTILIZADOS PARA HABLAR DE ECOSISTEMA EN EL ÁMBITO TECNOLÓGICO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	69
FIGURA 15. MQ6 – GRÁFICO CON LOS DIFERENTES TIPOS DE DOMINIOS EN LOS QUE SE APLICAN LAS SOLUCIONES PROPUESTAS EN LAS PUBLICACIONES SELECCIONADAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	71
FIGURA 16. VISTA SOFTWARE DE LA ARQUITECTURA COACH. FUENTE: [255].....	74
FIGURA 17. PROPUESTA ARQUITECTÓNICA DEL ECOSISTEMA AAL4ALL. FUENTE: [264].....	75
FIGURA 18. RELACIÓN ENTRE LAS ESTRUCTURAS PARA DEFINIR LA ARQUITECTURA DE UN ECOSISTEMA SOFTWARE. FUENTE: [55]	76
FIGURA 19. PATRÓN ARQUITECTÓNICO SORASCS. FUENTE: [261]	78
FIGURA 20. ARQUITECTURA PARA EL ECOSISTEMA DIGITAL DE UN LIVING LAB. FUENTE: [266]	79
FIGURA 21. PROPUESTA ARQUITECTÓNICA SOA CON CAPACIDAD DE AUTO ORGANIZACIÓN PARA DEFINIR ECOSISTEMAS DE SERVICIOS. FUENTE: [267].....	80
FIGURA 22. METAMODELO DE LA PROPUESTA ARQUITECTÓNICA SOA CON CAPACIDAD DE AUTO ORGANIZACIÓN PARA DEFINIR ECOSISTEMAS DE SERVICIOS. FUENTE: [267]	81
FIGURA 23. MODELOS Y METAMODELOS PARA PROBAR Y CERTIFICAR PRODUCTOS ANTES DE INCORPORARLOS AL ECOSISTEMA DIGITAL. FUENTE: [259].....	82
FIGURA 24. FRAMEWORK Y CAPAS Y MODELADO PARA INTEGRAR COMPONENTES EN ECOSISTEMAS DIGITALES EN EJECUCIÓN. FUENTE: [262]	83
FIGURA 25. METAMODELO TECMO (TECNICAL ECOSYSTEM MODELING NOTATION). FUENTE: [265]	84
FIGURA 26. METAMODELO SEM. FUENTE: [263].....	85
FIGURA 27. ETAPAS DEL SEGUNDO CICLO DE INVESTIGACIÓN-ACCIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	99
FIGURA 28. MATRIZ DAFO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	100
FIGURA 29. ARQUITECTURA DE LA UNIVERSIDAD DIGITAL. FUENTE: ADAPTADO DE [281]	102

FIGURA 30. ARQUITECTURA DEL ECOSISTEMA DE APRENDIZAJE DE GRIAL CON LOS PRINCIPALES COMPONENTES EN COLOR AZUL Y LAS REDES SOCIALES INCORPORADAS AL ECOSISTEMA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	110
FIGURA 31. ARQUITECTURA DEL ECOSISTEMA TRAILER CON LOS PRINCIPALES COMPONENTES E INTERFACES. FUENTE: ADAPTADO DE [71]	115
FIGURA 32. PATRÓN ARQUITECTÓNICO PARA DEFINIR ECOSISTEMAS DE APRENDIZAJE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	127
FIGURA 33. DIAGRAMA BPMN PARA OBTENER DOCUMENTOS RELEVANTES GENERADOS DENTRO DE LA PLATAFORMA DE APRENDIZAJE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	134
FIGURA 34. DIAGRAMA BPMN PARA DESCUBRIR CONOCIMIENTO DENTRO DE UNA ORGANIZACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	135
FIGURA 35. DIAGRAMA BPMN PARA EL PROCESO DE TOMA DE DECISIONES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	136
FIGURA 36. DIAGRAMA BPMN PARA LA AUTENTICACIÓN DE USUARIOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	137
FIGURA 37. DIAGRAMA BPMN PARA CAMBIAR UN COMPONENTE DEL ECOSISTEMA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	138
FIGURA 38. DIAGRAMA BPMN PARA EL PROCESO DE AUTENTICACIÓN APLICANDO EL PATRÓN ARQUITECTÓNICO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	139
FIGURA 39. DIAGRAMA BPMN PARA LA TOMA DE DECISIONES APLICANDO EL PATRÓN ARQUITECTÓNICO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	139
FIGURA 40. DIAGRAMA BPMN PARA REEMPLAZAR UN COMPONENTE DEL ECOSISTEMA APLICANDO EL PATRÓN ARQUITECTÓNICO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	140
FIGURA 41. DIAGRAMA BPMN PARA COMPARTIR Y DESCUBRIR CONOCIMIENTO DENTRO DEL ECOSISTEMA APLICANDO EL PATRÓN ARQUITECTÓNICO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	141
FIGURA 42. DIAGRAMA BPMN PARA DARLE VISIBILIDAD AL CONOCIMIENTO APLICANDO EL PATRÓN ARQUITECTÓNICO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	142
FIGURA 43. ARQUITECTURA DEL ECOSISTEMA DEL INAP. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	145
FIGURA 44. ARQUITECTURA DEL ECOSISTEMA DEL PROGRAMA DE DOCTORADO FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	149
FIGURA 45. EVOLUCIÓN DE LA ARQUITECTURA DEL ECOSISTEMA DE APRENDIZAJE PARA PROGRAMAS DE DOCTORADO. A) PROGRAMA DE DOCTORADO FORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA. B) PROGRAMA DE DOCTORADO EN INNOVACIÓN EDUCATIVA DEL TECNOLÓGICO DE MONTERREY (MÉXICO). C) MÁSTER Y PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIA DEL COMPORTAMIENTO CON ORIENTACIÓN EN ALIMENTACIÓN Y NUTRICIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA (MÉXICO). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	151
FIGURA 46. ARQUITECTURA DEL ECOSISTEMA WYRED. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	154
FIGURA 47. ETAPAS DEL TERCER CICLO DE INVESTIGACIÓN-ACCIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	161
FIGURA 48. ARQUITECTURA DE CUATRO CAPAS DE MDA. FUENTE: ADAPTADO DE [319]	163
FIGURA 49. METAMODELO DE ECOSISTEMA DE APRENDIZAJE COMO INSTANCIA DE MOF EN LA ARQUITECTURA DE CAPAS DE OMG. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	164
FIGURA 50. METAMODELO DE ECOSISTEMA DE APRENDIZAJE INSTANCIADO A PARTIR DE MOF. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	168

FIGURA 51. MODELOS INSTANCIADOS A PARTIR DEL METAMODELO DE ECOSISTEMA DE APRENDIZAJE EN LA ARQUITECTURA DE CUATRO CAPAS DE OMG. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	170
FIGURA 52. VISTA DE LAS HERRAMIENTAS SOFTWARE DEL ECOSISTEMA DE APRENDIZAJE PARA PROGRAMAS DE DOCTORADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	171
FIGURA 53. VISTA DE LOS COMPONENTES RELACIONADOS CON EL FACTOR HUMANO DEL ECOSISTEMA DE APRENDIZAJE PARA PROGRAMAS DE DOCTORADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	173
FIGURA 54. VISTA DE LAS RELACIONES ENTRE COMPONENTES DEL ECOSISTEMA DE APRENDIZAJE PARA PROGRAMAS DE DOCTORADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	174
FIGURA 55. VISTA DE LAS HERRAMIENTAS SOFTWARE DEL ECOSISTEMA DE APRENDIZAJE DEL INAP. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	176
FIGURA 56. VISTA DE LOS COMPONENTES RELACIONADOS CON EL FACTOR HUMANO DEL ECOSISTEMA DE APRENDIZAJE DEL INAP. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	177
FIGURA 57. VISTA DE LAS RELACIONES ENTRE COMPONENTES DEL ECOSISTEMA DE APRENDIZAJE DEL INAP. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	177
FIGURA 58. FLUJO DE TRABAJO PARA VALIDAR EL METAMODELO DE ECOSISTEMA DE APRENDIZAJE Y GARANTIZAR SU CALIDAD. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	180
FIGURA 59. MODELOS Y TRANSFORMACIONES COMO RESULTADO DE LAS FASES DE VALIDACIÓN EN LA ARQUITECTURA DE CUATRO CAPAS PROPUESTA POR OMG. MODELOS (M1), METAMODELOS (M2) Y METAMODELOS (M3). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	181
FIGURA 60. METAMODELO DE ECOSISTEMA DE APRENDIZAJE EN Ecore. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	185
FIGURA 61. METAMODELO ESPECÍFICO DE PLATAFORMA PARA DEFINIR ECOSISTEMAS DE APRENDIZAJE BASADOS EN SOFTWARE OPEN SOURCE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	191
FIGURA 62. INSTANCIA DEL METAMODELO DE ECOSISTEMA DE APRENDIZAJE E INSTANCIA OBTENIDA TRAS APLICAR LA TRANSFORMACIÓN ATL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	195
FIGURA 63. PRODUCCIÓN CIENTÍFICA ASOCIADA A LA TESIS DOCTORAL ORGANIZADA POR AÑO Y TIPO DE PUBLICACIONES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	209
FIGURA 64. PRODUCCIÓN CIENTÍFICA ASOCIADA A LA TESIS DOCTORAL ORGANIZADA POR TIPO DE PUBLICACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	210
FIGURA 65. FLUJO PRISMA DE LA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE SLR SOBRE ECOSISTEMAS TECNOLÓGICOS. FUENTE: ADAPTADO DE [252].....	228

Índice de Tablas

TABLA 1. NOMBRE DE LOS AUTORES DE PUBLICACIONES DE REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	52
TABLA 2. SIMILITUD ENTRE LAS PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN DE LA PRESENTE SLR Y LAS DE LOS ESTUDIOS IDENTIFICADOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	56
TABLA 3. RELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES RECOPIADAS Y LAS PREGUNTAS DE MAPEO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	63
TABLA 4. MQ2 – NOMBRE DE LOS AUTORES Y TOTAL DE PUBLICACIONES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	67
TABLA 5. MQ4 – PUBLICACIONES AGRUPADAS POR BASE DE DATOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	68
TABLA 6. MQ5 – TÉRMINOS UTILIZADOS PARA HABLAR DE ECOSISTEMA EN EL ÁMBITO TECNOLÓGICO EN CADA UNO DE LOS TRABAJOS FINALES DE LA SLR. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	70
TABLA 7. MQ6 – DOMINIO DE APLICACIÓN DE LAS SOLUCIONES PROPUESTAS EN LAS PUBLICACIONES SELECCIONADAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	71
TABLA 8. MQ7, MQ8 – PUBLICACIONES AGRUPADAS POR TIPO DE SOLUCIÓN PLANTEADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	72
TABLA 9. MQ9 – APLICACIÓN DE LAS SOLUCIONES PLANTEADAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	73
TABLA 10. DISTRIBUCIÓN DE LAS SOLUCIONES EN FUNCIÓN DE SU TIPO Y SU VALIDACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	89
TABLA 11. DISTRIBUCIÓN DE LAS SOLUCIONES EN FUNCIÓN DE SU TIPO Y LA BASE EN EXPERIENCIAS PREVIAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	90
TABLA 12. RESUMEN DE LOS TRABAJOS ASOCIADOS A CADA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	93
TABLA 13. CRONOGRAMA DE LOS ECOSISTEMAS DE APRENDIZAJE ANALIZADOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	101
TABLA 14. DATOS DEL PROYECTO TRAILER. FUENTE: ADAPTADO DE [73]	113
TABLA 15. GRÁFICO COMPARATIVO DE LAS DIFERENTES CARACTERÍSTICAS EN FUNCIÓN DE LAS DEBILIDADES Y FORTALEZAS. CÓDIGO: VERDE, TODO FORTALEZAS; AMARILLO, IGUAL NÚMERO DE FORTALEZAS Y DE DEBILIDADES; MARRÓN CLARO, MAYOR NÚMERO DE DEBILIDADES QUE DE FORTALEZAS; MARRÓN OSCURO, TODO DEBILIDADES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	122
TABLA 16. CRONOGRAMA DE LOS ECOSISTEMAS DE APRENDIZAJE IMPLEMENTADOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	142
TABLA 17. DATOS DEL PROYECTO WYRED. FUENTE: ADAPTADO DE.....	153
TABLA 18. VALOR LÓGICO QUE TOMA CADA ATRIBUTO DE INTERNALTOOL PARA TRANSFORMARSE EN UNA DE LAS CUATRO HERRAMIENTAS OPEN SOURCE DISPONIBLES.....	192
TABLA 19. CORRESPONDENCIA DE LA TRANSFORMACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS SOFTWARE.....	193
TABLA 20. CORRESPONDENCIA DE LA TRANSFORMACIÓN DEL FACTOR HUMANO	193
TABLA 21. CORRESPONDENCIA DE LA TRANSFORMACIÓN DE LOS FLUJOS DE INFORMACIÓN	193
TABLA 22. CARACTERÍSTICAS DEL MARCO PARA COMPROBAR LA CALIDAD PROPUESTO POR [87]	195
TABLA 23. COMPARATIVA DE LOS ANÁLISIS DAFO DE CADA UNO DE LOS ECOSISTEMAS TECNOLÓGICOS ESTUDIADOS	231



Capítulo 1

Introducción

Este capítulo tiene como objetivo describir el problema y las principales ideas que dan origen a la presente tesis doctoral. En primer lugar, se introduce el contexto en el que se enmarca la investigación, en el que se plantea el concepto de ecosistema tecnológico como la evolución de los sistemas de información tradicionales, con el fin de adaptarse a las necesidades de gestión del conocimiento existentes en la sociedad actual; así como al cambio de paradigma en el desarrollo de soluciones *software* y el auge del uso y desarrollo de herramientas *software open source*. Se profundiza en las ventajas y los problemas que poseen los ecosistemas tecnológicos existentes, tanto desde el punto de vista tecnológico como de sus actores principales.

A partir de los problemas detectados, se formula una hipótesis de partida y se define el objetivo principal para poder demostrar esa hipótesis, además de un conjunto de objetivos parciales que permiten alcanzar el primero.

A continuación, se describe el marco metodológico para llevar a cabo la investigación. Como marco general se va a utilizar la metodología Investigación-Acción, que permite definir un conjunto de ciclos a través de los cuales se facilita la evolución del trabajo desarrollado y se permite involucrar a los principales actores que forman parte de los procesos de definición, desarrollo y explotación de los ecosistemas tecnológicos.

Además, se describen otras metodologías utilizadas para desarrollar alguna de las etapas que se desarrollan dentro del marco Investigación-Acción.

Una vez definido el contexto y el marco metodológico, se define el contexto en el que se desarrolla la tesis doctoral. Concretamente, el grupo de investigación GRIAL de la Universidad de Salamanca y el Programa de Doctorado Formación en la Sociedad del Conocimiento.

Finalmente, se describe la estructura de este documento, organizado en capítulos, y unas conclusiones.

1.1 Contexto de la investigación

La evolución de la noción de Sociedad de la Información a Sociedad del Conocimiento [1, 2] está estrechamente relacionada con la evolución de los sistemas de información. En la Sociedad del Conocimiento la información es un instrumento; el elemento central es la capacidad de identificar, producir, procesar, transformar, difundir y utilizar la información para construir y aplicar los conocimientos necesarios para el desarrollo humano [3]. La adecuada gestión del conocimiento [4, 5], y más concretamente de los procesos de enseñanza-aprendizaje dentro de instituciones y empresas, ha provocado la evolución de los sistemas de información tradicionales en lo que hoy en día se denominan ecosistemas tecnológicos.

En los últimos años los debates sobre la innovación de los sistemas se han enfocado hacia la ecología y los ecosistemas [6], tanto en el ámbito académico como en el político [7-16]. La Comisión Europea a través de la Dirección General de Sociedad de la Información y Medios de Comunicación, la actual Dirección General de Redes de Comunicación, Contenido y Tecnologías (DG CNECT), introdujo a comienzos del segundo milenio el concepto de ecosistema digital como una clara evolución de las herramientas de *e-business* y los entornos de colaboración e intercambio de conocimiento [17-19]. Dentro del proyecto *Digital Ecosystems* de la Comisión Europea, un ecosistema digital posee una arquitectura basada en componentes *software open source* que se combinan para permitir la evolución gradual del sistema mediante la aportación de ideas y nuevos componentes por parte de la comunidad [20].

La metáfora de ecosistema proviene del área de la biología y se transfiere al área social para capturar mejor la naturaleza evolutiva de las relaciones entre las personas, sus actividades de innovación y sus entornos [21], al área de servicios como una

conceptualización más genérica de actores económicos y sociales que crean valor en sistemas complejos [22, 23] y al área tecnológica, inspirados en los conceptos de Moore [24] e Iansiti [25] de negocios y ecosistemas biológicos, para definir los ecosistemas *software* o SECO (*Software ECOsystems*) [26]. Estos últimos pueden referirse al conjunto de negocios y sus interrelaciones con respecto a un producto *software* común o mercado de servicios [27], o bien, desde un punto de vista más arquitectónico, a la estructura o estructuras en términos de elementos, a las propiedades de estos elementos y a las relaciones entre dichos elementos, esto es, sistemas, componentes de un sistema y actores [28].

Messerschmitt y Szyperski [29] son los primeros en hablar sobre ecosistemas *software* para referirse a una colección de productos *software* que tienen algún grado de relaciones simbióticas. Según Dhungana et al. [30] un ecosistema *software* se puede comparar a un ecosistema biológico, desde la perspectiva de la gestión de recursos y la biodiversidad, haciendo especial hincapié en la importancia de la diversidad, y del apoyo a la interacción social. Esta relación entre lo natural y lo tecnológico se repite en otros autores que utilizan la definición de ecosistema natural para sustentar su propia definición de ecosistema tecnológico [18, 31-38]. Existen diversas definiciones de ecosistema natural o biológico, pero hay tres elementos que están presentes en todas ellas: los organismos, el medio físico en el que llevan a cabo sus funciones básicas y el conjunto de relaciones entre los organismos y el medio.

Paralelamente, un ecosistema tecnológico se basa en los elementos principales que componen todo ecosistema natural: los organismos o factores bióticos, el medio físico en el que habitan o factores abióticos y las relaciones tanto entre los organismos como de estos con el medio. De esta forma, en un ecosistema tecnológico se dispone de un conjunto de personas y componentes *software* que desempeñan el papel de los organismos; una serie de elementos que permiten que el ecosistema funcione (*hardware*, redes, etc.); y un conjunto de flujos de información que establecen las relaciones entre los componentes *software* y entre estos y las personas involucradas en el ecosistema [39].

Una de las principales diferencias de los ecosistemas tecnológicos frente a los sistemas de información tradicionales es la integración de componentes *software* heterogéneos para proporcionar un conjunto de funcionalidades que cada componente por separado no ofrece, así como mejorar la experiencia de los usuarios, que van a ser considerados

como un componente más dentro del ecosistema. Los componentes *software* que forman el ecosistema pueden tener diferentes tipos de licencias, pueden ser de código abierto o cerrado, estar desarrollados a medida, etc. Respecto a los usuarios, en los ecosistemas tecnológicos, las personas son un elemento tan importante como los componentes *software*. Habitualmente, las personas son usuarios de los sistemas de información, interactúan con ellos, pero en un ecosistema tecnológico las personas son parte del mismo estableciendo relaciones simbióticas [40]. Las necesidades de los usuarios influyen de forma directa en la evolución del ecosistema, es decir, las herramientas *software* deben adaptarse a las necesidades del usuario y deben estar preparadas para evolucionar las relaciones entre el *software* y los componentes "humanos".

Los ecosistemas tecnológicos se pueden orientar a diferentes dominios, dependiendo de los problemas que resuelvan. En el ámbito educativo, los ecosistemas tecnológicos para el aprendizaje plantean una verdadera red de servicios de aprendizaje más allá de proporcionar una colección de tecnologías de moda [41-44]. Estos ecosistemas tecnológicos permiten establecer ecologías de aprendizaje, entornos de aprendizaje con una fuerte componente interactiva que permiten el intercambio de conocimiento de manera informal y desestructurada.

El *software* libre [45] y los desarrollos *open source* [46] han ganado fuerza en los últimos años y las empresas e instituciones están cada vez más comprometidas con este tipo de enfoques. Se trata de una tendencia relacionada con una serie de cambios que han ocurrido en el contexto tecnológico. En los últimos diez años, la aparición de la Web 2.0 [47] y la evolución de los dispositivos utilizados para acceder a Internet han supuesto un cambio de paradigma en el desarrollo de componentes *software*, tanto propietario como *open source*. Esta tendencia queda patente en la estrategia de la Comisión Europea para utilizar soluciones *open source* internamente, o el compromiso del gobierno español para promover el conocimiento y el uso de *software* libre a través del Centro de Excelencia de Software de Fuentes Abiertas de Red.es, anteriormente conocido como CENATIC (Centro Nacional de Referencia de Aplicación de las TIC basadas en Fuentes Abiertas) [48].

Existe un gran número de herramientas *open source* que permiten la gestión del conocimiento de diferentes formas, con especial hincapié en los gestores de contenidos y los repositorios documentales. Por otro lado, desde el punto de vista de la gestión del

aprendizaje, existe una gran variedad de plataformas de aprendizaje (*Learning Management System*, o LMS [49, 50]) y de herramientas que permiten definir Entornos Personalizados de Aprendizaje (*Personal Learning Environments*, o PLE) [51, 52]. Los ecosistemas tecnológicos para el aprendizaje deben ser capaces de combinar algunas de estas herramientas para dar soporte al conocimiento y a los procesos de aprendizaje en contextos heterogéneos, desde entornos institucionales hasta empresas privadas. Además, deben ser capaces de incorporar herramientas emergentes, así como eliminar aquellas que quedan obsoletas o que los usuarios no utilizan, de tal forma que el sistema debe estar en continua evolución.

A pesar de las ventajas que ofrecen los ecosistemas tecnológicos, el desarrollo de este tipo de soluciones tiene una mayor complejidad que los sistemas de información tradicionales. La definición de un ecosistema particular requiere conocer y seleccionar los sistemas y servicios adecuados para cubrir las necesidades de un contexto concreto. Así mismo, la interoperabilidad entre los diferentes componentes debe asegurar un alto grado de integración y cohesión a la par que permitir que el ecosistema evolucione y se adapte a las necesidades cambiantes del entorno y los usuarios.

Barbosa [53] identifica en su mapeo sistemático de la literatura un conjunto de retos y limitaciones en los ecosistemas tecnológicos:

- Establecer relaciones entre los actores del ecosistema y proponer una representación adecuada de las personas y sus conocimientos en el modelado de ecosistemas.
- Varios desafíos arquitectónicos, tales como: estabilidad de la interfaz del ecosistema, gestión de la evolución, seguridad, confiabilidad, cómo respaldar la estrategia comercial, arquitecturas adecuadas para respaldar el desarrollo *open source*, qué tan abierta y flexible es una arquitectura.
- Heterogeneidad de licencias de *software* y evolución en un ecosistema.
- Dificultades de las empresas para establecer un conjunto de recursos con el fin de diferenciarse de los competidores.
- Barreras técnicas y socio-organizacionales para la coordinación y comunicación de requisitos en proyectos distribuidos geográficamente.
- Infraestructura y herramientas para fomentar la interacción social, la toma de decisiones y el desarrollo entre las organizaciones involucradas, tanto en ecosistemas *open source* como propietarios.

En el caso de los ecosistemas tecnológicos para el aprendizaje o ecosistemas *eLearning*, a los problemas mencionados se suma la dificultad de gestionar un conocimiento complejo y la diversidad de usuarios involucrados.

Los diferentes retos y problemas de los ecosistemas tecnológicos, y en particular de aquellos centrados en gestionar el conocimiento y el aprendizaje, requieren mejorar los procesos de definición y desarrollo de este tipo de soluciones tecnológicas. De acuerdo a [28] existen un gran número de estudios que investigan un problema específico en uno o más ecosistemas, pero ya sea el problema o la solución están altamente acoplados al ecosistema y no son fácilmente transferibles a otros ecosistemas. Por tanto, dichas mejoras deben aplicarse desde la concepción del ecosistema, es decir, deben estar presente en el proceso de ingeniería del *software*. Según [54], es necesario pasar de desarrollados *ad-hoc* a ecosistemas sostenibles. Christensen et al. [55] introducen el concepto de arquitectura de un ecosistema *software* como propuesta para modelar este tipo de soluciones; define la arquitectura de un ecosistema *software* como el conjunto de estructuras necesarias para razonar sobre el ecosistema *software*, que comprenden actores y componentes *software*, las relaciones entre ellos, y sus propiedades.

El presente trabajo de investigación pretende definir un marco arquitectónico que permita mejorar la definición, el desarrollo y la sostenibilidad de los ecosistemas tecnológicos para el aprendizaje.

1.2 Hipótesis y objetivos

Una vez presentado el contexto del problema que origina este trabajo de investigación, se plantea la siguiente hipótesis:

Es posible mejorar los procesos de definición y desarrollo de los ecosistemas tecnológicos para el aprendizaje, con el objetivo de permitir que el ecosistema evolucione y se adapte a las necesidades cambiantes del entorno y de los usuarios. Estas mejoras deben permitir resolver los principales problemas asociados a los ecosistemas tecnológicos.

A partir de la hipótesis formulada, se define el objetivo principal de este trabajo de investigación:

Plantear una solución basada en arquitecturas *software* e ingeniería dirigida por modelos (*Model Driven Engineering*, o MDE) que permita mejorar los procesos de definición, desarrollo y evolución de los ecosistemas tecnológicos basados en

software open source para la gestión del conocimiento y los procesos de aprendizaje en contextos heterogéneos.

Para la consecución de este objetivo principal se consideran los siguientes objetivos específicos:

- Identificar y analizar la investigación previa desarrollada en relación a las arquitecturas *software* o la ingeniería dirigida por modelos para definir y desarrollar ecosistemas tecnológicos en diversos contextos, de manera que se pueda determinar si utilizar alguna de las soluciones existentes o plantear una nueva.
- Conocer las limitaciones y características de las soluciones tecnológicas reales basadas en la integración de diferentes herramientas *software* para dar soporte a flujos de información. Se pretende tener el conocimiento necesario para plantear un patrón arquitectónico que sirva como base para solucionar los problemas detectados y permita asegurar las características que debe tener un ecosistema tecnológico.
- Detectar y seleccionar servicios y herramientas *software open source* para la implantación de ecosistemas tecnológicos educativos.
- Definir un patrón arquitectónico que facilite la definición de los ecosistemas tecnológicos centrados en la gestión del conocimiento y el aprendizaje. Esto supone analizar los procesos de gestión del conocimiento y el aprendizaje que tienen lugar en contextos heterogéneos a la hora de utilizar ecosistemas tecnológicos. El patrón debe solucionar los problemas detectados en el análisis previo y asegurar la mejora de los procesos analizados.
- Aplicar el patrón arquitectónico definido en diferentes ecosistemas tecnológicos reales, con el fin de validarlo y observar su comportamiento a la hora de soportar la evolución del ecosistema.
- Crear un metamodelo para la definición de ecosistemas que sirva de referencia para modelar ecosistemas tecnológicos educativos reales. El metamodelo debe proporcionar un conjunto de reglas, una selección de componentes *software open source* y elementos relacionados con el factor humano que el ecosistema a implementar debe tener.
- Validar el metamodelo de ecosistema de forma automatizada y en escenarios reales. De esta manera, además de proporcionar una solución válida, se podrán

detectar posibles problemas a la hora de generar soluciones específicas y corregirlos hasta obtener una propuesta final.

1.3 Metodología

La mejora en los procesos de definición, desarrollo y evolución de los ecosistemas tecnológicos educativos a través del desarrollo dirigido por modelos [56] involucra un conjunto de actores que participan o influyen, de forma directa o indirecta, en el ciclo de vida de este tipo de soluciones tecnológicas. Concretamente, hay tres actores que participan de forma activa en este proceso: la entidad, cuyo conocimiento y procesos de aprendizaje es soportado por la implantación de un ecosistema de aprendizaje; los usuarios que interactuarán con el ecosistema y participarán de forma activa en la evolución del mismo; y los gestores encargados de definir los diferentes procesos que tienen lugar dentro del ecosistema.

Para llevar a cabo esta investigación es necesario que los diferentes actores mencionados formen parte del proceso. Por este motivo, el marco metodológico para la mejora de la definición y desarrollo de ecosistemas tecnológicos se ha planteado siguiendo el paradigma Investigación-Acción [57].

El término Investigación-Acción tiene su origen en los trabajos llevados a cabo por el psicólogo Kurt Lewin entre 1946 y 1952 cuya intención era establecer una forma de investigación que integrara la experimentación científica con la acción social. Lewin defiende la idea de compatibilizar la creación de conocimientos científicos en el ámbito social con la intervención directa de la comunidad implicada [57].

La Investigación-Acción es una forma de estudiar, de explorar, una situación con la finalidad de mejorarla involucrando a los actores implicados en la realidad investigada [58]. En el contexto de este trabajo, el elemento central de la Investigación-Acción son los ecosistemas tecnológicos y los principales actores involucrados son, por un lado, los usuarios del ecosistema divididos en dos roles principales, el estudiante o trabajador, que accede a un conjunto limitado de herramientas en función de sus necesidades, y un perfil más especializado como puede ser el docente o el *Community Manager*. Por otro lado, la entidad, bien sea una empresa o una institución, que proporciona el contexto en el que dar cabida al ecosistema tecnológico como herramienta para gestionar el conocimiento que genera.

Según Baskerville [59] la Investigación-Acción se utiliza para referirse a una clase general de métodos de investigación social que tienen en común una serie de características:

- Orientación a la acción y al cambio.
- Focalización en un problema.
- Un modelo de proceso orgánico que engloba etapas sistemáticas y algunas veces iterativas.
- Colaboración entre los participantes.

Kemmis en 1984 [60] plantea la Investigación-Acción como una forma de indagación autorreflexiva llevada a cabo por quienes participan en las situaciones sociales con el fin de mejorar sus propias prácticas sociales o educativas, así como su comprensión de las mismas y de las situaciones en las cuales estas prácticas se realizan. Más adelante, junto a McTaggart y Kemmis [61], describen de manera detallada las características de esta metodología. A continuación, se plantea una síntesis de dichas características [62]:

- Es participativa. Las personas trabajan con la intención de mejorar sus propias prácticas.
- Sigue una espiral introspectiva: una espiral de ciclos de planificación, acción, observación y reflexión.
- Es colaborativa, se realiza en grupo por las personas implicadas.
- Crea comunidades autocríticas de personas que participan y colaboran en todas las fases del proceso de investigación.
- Es un proceso sistemático de aprendizaje, orientado a la praxis (acción críticamente informada y comprometida).
- Induce a teorizar sobre la práctica.
- Somete a prueba las prácticas, las ideas y las suposiciones.
- Implica registrar, recopilar, analizar nuestros propios juicios, reacciones e impresiones en torno a lo que ocurre; exige llevar un diario personal en el que se registran nuestras reflexiones.
- Es un proceso político porque implica cambios que afectan a las personas.
- Realiza análisis críticos de las situaciones.
- Procede progresivamente a cambios más amplios.

- Empieza con pequeños ciclos de planificación, acción, observación y reflexión, para avanzar hacia problemas de más envergadura; la inician pequeños grupos de colaboradores, expandiéndose gradualmente a un número mayor de personas.

De acuerdo a estas características, la metodología de Investigación-Acción se basa en una espiral de ciclos de investigación y acción compuesto por fases y secuencias (Figura 1).



Figura 1. Ciclos Investigación-Acción. Fuente: Elaboración propia

Según Latorre [63] para lograr el potencial total de mejora y cambio, un ciclo de Investigación-Acción no es suficiente. Se precisa de una espiral de ciclos de Investigación-Acción en el que participen y colaboren los actores involucrados en la investigación de tal manera que:

- Se desarrolle un plan de acción informada críticamente para mejorar la práctica actual. El plan debe ser flexible, de modo que permita la adaptación a efectos imprevistos.
- Se actúe para implementar el plan, que debe ser deliberado y controlado.

- Se observe la acción para recoger evidencias que permitan evaluarla. La observación debe planificarse. El proceso de la acción y sus efectos deben observarse y controlarse individual o colectivamente.
- Finalmente, se reflexione sobre la acción registrada durante la observación, ayudada por la discusión entre los actores involucrados. La reflexión puede proveer la base para una nueva planificación y continuar otro ciclo.

Por tanto, el proceso de Investigación-Acción es un proceso iterativo e incremental en el que se involucra a los actores implicados en la realidad investigada. Cada ciclo proporciona una entrada para el siguiente ciclo, con el objetivo de obtener soluciones cada vez más refinadas, en las que se descartan aquellas ideas o soluciones que no funcionan y se incorporan nuevas soluciones para solventar problemas detectados durante el ciclo que ha finalizado.

Aunque la metodología Investigación-Acción está muy ligada a la educación, desde sus inicios también ha sido aplicada en la investigación de sistemas de información. Según Baskerville [59] la metodología de Investigación-Acción se introdujo de forma explícita para llevar a cabo investigaciones relacionadas con los sistemas de información por Wood-Harper [64].

Desde el punto de vista de la ingeniería del *software*, la metodología Investigación-Acción permite seguir el enfoque en espiral propuesto inicialmente por Boehm [65, 66]. Se trata de un modelo de proceso evolutivo que permite el desarrollado rápido de versiones incrementales del *software*. Los modelos de proceso *software* evolutivos, y en particular el modelo en espiral, se caracterizan por permitir el desarrollo de versiones cada vez más completas del producto *software*, que pueden ir entregándose al cliente en forma de incrementos.

1.3.1 Aplicación de la metodología Investigación-Acción

En el contexto de la investigación llevada a cabo en este trabajo de tesis doctoral, la metodología Investigación-Acción se plantea como un marco general. Además, se hace uso de otras metodologías para llevar a cabo algunas de las tareas que se desarrollan dentro del marco Investigación-Acción.

En particular, la investigación se ha dividido en tres ciclos de Investigación-Acción. A su vez, cada ciclo se ha dividido en un conjunto de fases que se corresponden con cada

una de las cuatro etapas de la metodología: planificación, actuación, observación y reflexión.

La Figura 2 muestra los diferentes ciclos en los que se ha desarrollado la investigación, desde el análisis del problema hasta la solución propuesta resultado de este trabajo. Cada ciclo se ha identificado con un color: el primer ciclo en amarillo, el segundo ciclo en verde y el tercer ciclo en azul.



Figura 2. Descripción de los ciclos Investigación-Acción y las diferentes etapas de cada ciclo. Fuente: Elaboración propia

El primer ciclo de Investigación-Acción se ha centrado en la definición de los objetivos de la investigación y el análisis inicial del problema:

- Determinar los objetivos. En primer lugar, en la etapa de planificación se definió el contexto de la investigación, la mejora en los procesos de ingeniería a la hora de definir ecosistemas para la gestión del conocimiento y los procesos de aprendizaje.

Una vez establecido el contexto, se aplicó la metodología *Systematic Literature Review* (SLR) [67] para evaluar las aportaciones que los diferentes autores han realizado en torno a la definición de la arquitectura y el desarrollo dirigido por

modelos en ecosistemas tecnológicos. Esto permitió conocer las soluciones existentes, sus ventajas e inconvenientes, así como establecer los objetivos de la presente investigación.

- Analizar ecosistemas reales. A continuación, en la etapa de actuación del primer ciclo se llevó a cabo el análisis de varios casos de estudio reales con el fin de obtener un modelo de dominio del problema. Se analizaron ecosistemas tecnológicos para la gestión del conocimiento y el aprendizaje desplegados en contextos heterogéneos, en particular, la Universidad de Salamanca [68], el grupo de investigación GRIAL [69, 70] y el proyecto europeo TRAILER [71-74] orientado a gestionar el aprendizaje informal. La técnica utilizada fue el análisis de las Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades (DAFO) [75] de cada uno de los casos de estudio. Posteriormente, se realizó un análisis comparativo y se identificaron los principales problemas a la hora de definir y desarrollar ecosistemas tecnológicos centrados en la gestión del conocimiento.
- Definir las características de los ecosistemas tecnológicos. La observación del análisis realizado en la etapa previa, es decir, los problemas detectados en los ecosistemas tecnológicos estudiados, permitió identificar una serie de características que un ecosistema tecnológico centrado en la gestión de los procesos de aprendizaje debe poseer.
- Plantear el patrón arquitectónico. Para finalizar el ciclo, los resultados de las etapas previas permitieron definir un patrón arquitectónico que sentaba las bases de los ecosistemas de aprendizaje, lo que ofrecía una solución a algunos de los problemas detectados y aseguraba la flexibilidad y adaptabilidad de los componentes del ecosistema con el fin de permitir su evolución [39, 76, 77].

El segundo ciclo se centró en la mejora y validación del patrón arquitectónico resultado del primer ciclo de Investigación-Acción:

- Definir la validación del patrón. Al comienzo del segundo ciclo, en la etapa de planificación se definieron las tareas y técnicas a utilizar para asegurar que el patrón arquitectónico propuesto en el ciclo anterior permitiera solventar los problemas detectados y mejorar la definición de la arquitectura en los ecosistemas de aprendizaje.
- Modelar con diagramas BPMN. Los problemas detectados en el ciclo anterior se modelaron con *Business Process Model and Notation* (BPMN) [78]. Para ello, se

agruparon los problemas relacionados con los procesos de gestión del conocimiento similares y, posteriormente, se realizó para cada conjunto de problemas un diagrama con un alto nivel de abstracción [79]. Después, para cada uno de los diagramas se identificaron una vez más los problemas a resolver y se obtuvo un nuevo diagrama con el proceso mejorado.

- Comparar con y sin patrón. Se realizó la validación del patrón arquitectónico mediante la comparación de los diagramas BPMN que modelan los procesos de gestión del conocimiento antes de aplicar el patrón, con los que se modelaron una vez aplicado el patrón.

Además, el patrón arquitectónico se aplicó a la definición de varios ecosistemas de gestión del conocimiento en contextos reales en los que han intervenido diferentes actores.

- Validar el patrón. Esto permitió validar el patrón arquitectónico para la definición de ecosistemas y sentar las bases para su formalización.

Por último, el tercer ciclo se centró en desarrollar la propuesta para el desarrollo dirigido por modelos, en inglés *Model-Driven Development* (MDD) [80], de los ecosistemas tecnológicos para la gestión del conocimiento y el aprendizaje basados en *software open source*:

- Aplicar desarrollo dirigido por modelos. En la primera etapa del último ciclo se definieron los métodos para plantear el desarrollo dirigido por modelos de los ecosistemas de aprendizaje. Se ha elegido el marco de trabajo *Model-Driven Architecture* (MDA) propuesto por el *Object Management Group* (OMG) para la definición del metamodelo [81].
- Definir y validar el metamodelo. El metamodelo se definió utilizando el estándar proporcionado por OMG, *Meta Object Facility* (MOF) [82], además se tomó como base el patrón arquitectónico validado en el ciclo de Investigación-Acción anterior.

La validación del metamodelo se llevó a cabo en dos fases. En la primera fase, con el fin de realizar una validación preliminar del metamodelo, se instanciaron manualmente dos modelos conceptuales de ecosistemas tecnológicos reales [83, 84]. La segunda fase se centró en verificar que las instancias del metamodelo se correspondían con el despliegue de los ecosistemas en un contexto real. Para

garantizar la validez del proceso, las transformaciones se realizaron mediante la definición de reglas de transformación utilizando Ecore [85] y las herramientas que proporciona Eclipse [86] para modelado.

- Observar el metamodelo validado. Finalmente, se evaluó la calidad del metamodelo utilizando el *framework* definido por López-Fernández et al. [87].
- Ofrecer una propuesta de metamodelo de ecosistema tecnológico de aprendizaje. Como resultado del tercer ciclo de Investigación-Acción se propuso el metamodelo de ecosistema tecnológico de aprendizaje.

1.3.2 Metodología *Systematic Literature Review (SLR)*

Una revisión sistemática de la literatura o SLR es un tipo de revisión de la literatura que recopila y analiza críticamente múltiples estudios o trabajos de investigación a través de un proceso sistemático [88]. El objetivo principal de una SLR es proporcionar un resumen exhaustivo de la literatura disponible pertinente a una o varias preguntas de investigación.

Las revisiones sistemáticas de la literatura tienen su origen en el campo de la Medicina y la Salud, aunque se han extendido a otros campos de conocimiento como las Ciencias Sociales. Su uso en el ámbito de la Ingeniería del *Software* fue adaptado por Kitchenham [67, 89, 90].

De acuerdo con Codina [91], una revisión sistemática tiene cuatro dimensiones:

- Sistemática significa que no es arbitraria: ni sesgada ni subjetiva, sino que, por el contrario, se ha examinado la mejor producción científica disponible utilizando las mejores fuentes de información.
- Completa en el sentido de que se han usado sistemas de información de los que se presume que facilitan el acceso al grueso de la producción de calidad de una disciplina a nivel internacional; y que no se ha descartado ni se ha incluido nada sin seguir otros criterios que los que se han hecho explícitos.
- Explícita implica que se dan a conocer tanto las fuentes utilizadas como los criterios de búsqueda y de selección y exclusión.
- Reproducible al ser sistemática y explícita. Se permite que otros investigadores comprueben el trabajo y, si lo desean, seguir los pasos y contrastar los resultados obtenidos para determinar su exactitud o su grado de acierto.

Una revisión sistemática de la literatura se divide en tres fases: planificar la revisión, conducir la revisión y realizar el informe.

La primera fase, la planificación de la revisión, se inicia con dos cuestiones básicas. En primer lugar, se debe determinar si es necesario llevar a cabo la revisión sistemática. Para ello, se realiza una búsqueda de revisiones sistemáticas existentes que puedan validar la hipótesis planteada. Este proceso puede llevarse a cabo siguiendo el mismo protocolo que la SLR, pero centrada únicamente en estudios sistemáticos de literatura que ya pudieran existir. En segundo lugar, se debe analizar si se dispone de los recursos necesarios para llevarlo a cabo; es determinante el acceso a los recursos bibliográficos, bien a través de las suscripciones de la institución a la que se pertenece o a través de fondos para cubrir el coste de las copias de artículos y libros.

Una vez se decide continuar con la revisión sistemática, se debe establecer el protocolo para llevarla a cabo. A continuación, se describe el protocolo propuesto:

- Definir el objetivo de la investigación, es decir, el objetivo que se desea lograr, y el conjunto de preguntas de investigación para conseguirlo. Algunos autores sugieren el uso de métodos para ayudar en la identificación de las preguntas. Petticrew y Roberts sugieren el método PICOC (*Population, Intervention, Comparison, Outcome, Context*) [92].
- Establecer los criterios de inclusión y exclusión. El conjunto de criterios debe ser consistente, es decir, estos deben permitir determinar de manera unívoca la validez de un artículo para ser incluido o excluido de la revisión sistemática.
- Identificar las bases de datos y motores de búsqueda que se van a utilizar.
- Plantear los términos de búsqueda y la consulta de búsqueda que combina los términos con operadores booleanos. Las consultas entre las diferentes bases de datos en las que se buscan los resultados deben ser iguales o equivalentes.
- Buscar en bases de datos científicas y extraer contenidos y datos relevantes. Se trata de un proceso iterativo que puede dividirse en varias etapas. Se eliminan duplicados, se aplican los criterios de inclusión y exclusión y se evalúa la calidad mediante una lista de verificación que permite decidir si el artículo en cuestión se incluirá o excluirá de la fase final.
- Extraer los datos más relevantes para su análisis. Una vez completado el cribado, es necesario leer y revisar los artículos que han pasado el proceso.

La segunda fase se centra en llevar a cabo la revisión siguiendo la planificación definida previamente. Se seguirá el protocolo establecido, desde la definición del objetivo y las preguntas de investigación, hasta la fase final de extracción de los datos, siempre respetando los criterios de inclusión y exclusión y asegurando la calidad mediante el cumplimiento de los criterios de calidad fijados.

Por último, la tercera fase consiste en la realización del informe con los resultados de la revisión sistemática. Este informe permite recoger la información que se requiere respecto a las preguntas de investigación y detectar los problemas no resueltos por otras publicaciones.

En el Capítulo 3 se describe cómo se ha aplicado la metodología en el presente trabajo de investigación.

1.3.3 Scrum

La implementación del marco arquitectónico propuesto en este trabajo, tanto del patrón arquitectónico en primera instancia y, posteriormente, del metamodelo de ecosistema, requiere seguir algún tipo de metodología de desarrollo de *software*.

La propia definición de ecosistema tecnológico como un conjunto de componentes *software* y personas que se relacionan entre sí mediante flujos de información, unido a un equipo de desarrollo pequeño, permite adoptar métodos ágiles [93]. Según Dodero et al. [94], una orientación ágil es una solución muy aceptada, tanto en la gestión de proyectos como en el proceso de desarrollo *software*, debido al alto riesgo de evolución y cambios en los requisitos y en la arquitectura, así como por la composición de los equipos de desarrollo. Los ecosistemas tecnológicos tienen una fuerte componente evolutiva debido a la necesidad de adaptarse a la evolución natural de instituciones y empresas.

Se ha optado por utilizar Scrum [95] para el desarrollo de los ecosistemas tecnológicos asociados a este trabajo de investigación.

Scrum no es una metodología como tal, se trata de un *framework* de desarrollo ágil que proporciona el proceso, las reglas, las prácticas, los roles y los artefactos necesarios para incrementar la productividad de un equipo de desarrollo basado en un ciclo iterativo e incremental de creación del *software* [96]. Scrum implementa el método de investigación empírico, reemplaza un enfoque algorítmico programado por uno

heurístico, con respeto por las personas y la autoorganización para enfrentar la imprevisibilidad y resolver problemas complejos [97].

La implementación de Scrum se sustenta en tres pilares [98]:

- **Transparencia.** Los aspectos importantes del proceso deben ser visibles para los responsables del resultado.
- **Inspección.** Se debe controlar con la suficiente frecuencia los diversos aspectos del proceso para que puedan detectarse variaciones no deseadas en el mismo.
- **Adaptación.** Se debe reaccionar frente a los problemas o variaciones no deseadas del proceso con el fin de mejorar.

Para permitir la inspección y adaptación, Scrum define una serie de eventos que se realizan de forma regular y cuyo objetivo es minimizar la necesidad de reuniones no definidas:

- ***Sprint.*** Es el concepto principal de Scrum. Define cada una de las iteraciones que se llevan a cabo en el desarrollo del proyecto. Su duración debe ser consistente para todo el proyecto y nunca superior a un mes.
- ***Sprint Planning.*** Al comienzo de cada *Sprint* se debe llevar a cabo una reunión cuyo objetivo es planificar el trabajo que se va a realizar. Se define el objetivo del *Sprint* y se selecciona la funcionalidad que se incluirá en el incremento final.
- ***Daily Scrum.*** Se trata de una reunión que se realiza diariamente con el fin de realizar un seguimiento del *Sprint* y planificar el trabajo del día.
- ***Sprint Review.*** Se lleva a cabo al final del *Sprint* y sirve para revisar el incremento y adaptar el *Product Backlog* si es necesario. Se realiza una demostración del incremento y se define con el cliente las posibles tareas del siguiente *Sprint*.
- ***Sprint Retrospective.*** Se realiza después del *Sprint Review* y antes del *Sprint Planning*. Tiene como objetivo analizar cómo el equipo ha trabajado durante el *Sprint* y establecer un plan de mejora para la próxima iteración.

En cuanto a la transparencia, Scrum define un conjunto de artefactos que permiten que todos los miembros del equipo tengan la misma información clave:

- ***Product Backlog.*** Es una lista ordenada que contiene todas las características, requisitos, mejoras y soluciones que constituyen los cambios que se realizarán en versiones futuras del producto.

- *Sprint Backlog*. Se trata de una lista con todas las tareas que se van a realizar durante el *Sprint* que comienza. Se define en el *Sprint Planning* a partir de las tareas priorizadas por el cliente en el *Product Backlog*.
- *Incremento*. Se trata de un incremento totalmente funcional del producto que se está desarrollando.

La Figura 3 muestra como se organizan los diferentes eventos y artefactos en una iteración o *Sprint*.

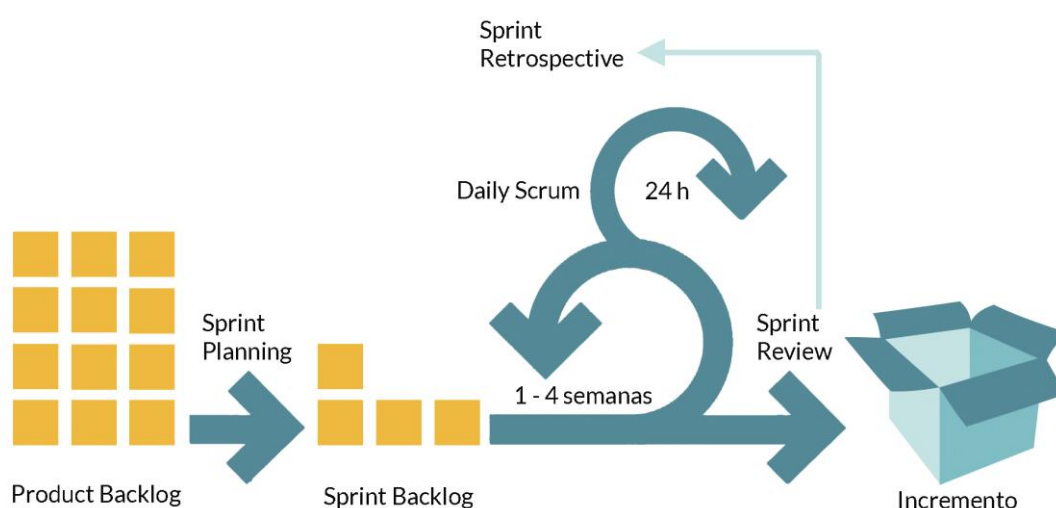


Figura 3. Scrum framework. Fuente: Adaptado de [99]

El ciclo de vida iterativo e incremental que define Scrum permite gestionar la componente evolutiva inherente a los ecosistemas tecnológicos. El desarrollo de este tipo de soluciones no puede llevarse a cabo de forma monolítica ya que el propio ecosistema es una solución descentralizada. Además, implementar un ecosistema tecnológico no implica el desarrollo de cada uno de sus componentes, sino que, por el contrario, se tiende a conectar e integrar componentes *software* existentes para obtener funcionalidad adicional a la que cada uno proporciona de manera individual.

A lo largo del presente trabajo se han desarrollado dos ecosistemas tecnológicos con el fin de validar el marco arquitectónico planteado. El primer ecosistema tiene como objetivo la gestión del conocimiento y de los procesos de aprendizaje en la Administración Pública [100]. El segundo ecosistema se centra en la gestión del conocimiento en un Programa de Doctorado [101, 102], con la peculiaridad de que se ha implementado el mismo ecosistema en tres Programas de Doctorado ubicados en

instituciones y países diferentes. Cada ecosistema se ha desarrollado como un proyecto independiente, con sus correspondientes iteraciones e incrementos.

1.4 Marco de trabajo

El presente trabajo de investigación se ha desarrollado en el GRupo de Investigación en InterAcción y eLearning (GRIAL) de la Universidad de Salamanca y en el contexto del Programa de Doctorado Formación en la Sociedad del Conocimiento.

El GRupo de Investigación GRIAL [69, 103, 104] es un Grupo de Investigación Reconocido (GIR) de la Universidad de Salamanca y, actualmente, Unidad de Investigación Consolidada (UIC) de la Junta de Castilla y León. Su mayor seña de identidad es que es un grupo de investigación multidisciplinar que surge en torno a la creación y aplicación de tecnología educativa, por tanto, en su composición integra fundamentalmente ingenieros en informática y pedagogos, pero en él se incluyen humanistas, bibliotecólogos, filósofos o filólogos entre otros perfiles.

Sus principales líneas de investigación son:

- Analítica visual.
- Calidad y evaluación en educación.
- Ciencias de la información.
- Ecosistemas tecnológicos.
- Gestión estratégica de conocimiento y tecnología.
- Humanidades Digitales.
- Ingeniería web y arquitecturas *software*.
- Metodologías *eLearning*.
- Responsabilidad social e inclusión.
- Sistemas de aprendizaje interactivos.
- Tecnologías del aprendizaje.
- TIC e innovación educativa.

A lo largo de su trayectoria, GRIAL ha desarrollado un gran número de proyectos de investigación, tanto nacionales como internacionales. En particular, la presente tesis doctoral supone una continuidad en la línea de investigación relacionada con las tecnologías del aprendizaje [6] que se desarrolla desde la concepción del grupo de investigación. Los resultados obtenidos en esta línea han ido marcando una evolución

en la concepción de los sistemas de información hasta la noción de ecosistema tecnológico, lo que ha hecho que se consolide como una línea de investigación. A continuación, se mencionan los principales proyectos relacionados con los ecosistemas tecnológicos que han tenido relación directa con la presente tesis doctoral:

- *Tagging, Recognition and Acknowledgment of Informal Learning Experiences* (TRAILER) (ref. 519141-LLP-1-2011-1-ES-KA3-KA3MP) [71-74]. Proyecto financiado por la Unión Europea a través del subprograma *ICT KA 3 Multilateral projects* dentro del *Lifelong Learning Programme*, con una duración de dos años, del 1-1-2012 al 31-12-2013. El principal objetivo de este proyecto fue la definición de una metodología junto con un ecosistema tecnológico para la identificación, publicación y reconocimiento de las competencias adquiridas por los usuarios en entornos informales de aprendizaje en contextos institucionales o empresariales.
- *Virtual Alliances for Learning Society* (VALS) (ref. 540054-LLP-1-2013-1-ES-ERASMUS-EKA) [105-115]. Proyecto financiado por la Unión Europea a través del *Lifelong Learning Programme* y el subprograma *Erasmus Knowledge Alliances*, que se desarrolló desde el 1-10-2013 al 9-02-2016. El principal objetivo se centró en establecer métodos y procesos sostenibles para crear alianzas de conocimiento entre universidades y empresas con el fin de colaborar en la resolución de problemas reales a través de la innovación y el uso de *software open source*.
- *Ecosistema tecnológico para el Observatorio de Empleabilidad y Empleo Universitarios (OEEU) de la Cátedra UNESCO de Gestión y Política Universitaria de la Universidad Politécnica de Madrid* [116-120]. Colaboración desde 2014 hasta la actualidad con la Cátedra UNESCO de Gestión y Política Universitaria de la Universidad Politécnica de Madrid para la implementación del ecosistema tecnológico para el Observatorio de Empleabilidad y Empleo Universitarios, con el que se han desarrollado el I Barómetro de Empleabilidad y Empleo Universitarios en España [121] y, más recientemente, el Barómetro de empleabilidad y empleo universitarios (Edición Máster 2017) [122], ambos financiados por la Fundación la Caixa.
- *WYRED: netWorked Youth Research for Empowerment in the Digital society* (ref. 727066) [123-126]. Proyecto financiado por la Unión Europea dentro del

programa *Horizon 2020, Europe in a changing world – inclusive, innovative and reflective Societies*, cuyo desarrollo se extiende desde el 1-11-2016 hasta el 31-10-2019. El principal objetivo del proyecto es proporcionar un marco para la investigación en el cual los jóvenes, desde los 7 hasta los 30 años, puedan expresar y explorar sus puntos de vista e intereses en relación con la sociedad digital, todo ello soportado por un ecosistema a través del cual puedan comunicar a otros interesados sus puntos de vista de manera efectiva a través de procesos de aprendizaje innovadores.

- TE-CUIDA, propuesta de un Ecosistema TEcnológico para apoyo a CUIDAdores asistenciales (ref. SA061P17) [[127](#), [128](#)]. Proyecto financiado por la Consejería de Educación de la Junta de Castilla y León en el programa de apoyo a proyectos de investigación cofinanciadas por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional. Su duración abarca desde el 26-7-2017 al 31-12-2019. Resolución ORDEN EDU/986/2017, 8 de noviembre. Busca dar apoyo a los cuidadores asistenciales, tanto formales como informales, con el fin de mejorar la calidad de asistencia e incluso reducir la carga del cuidador, facilitando con ello que la persona mayor, especialmente si tiene pérdida de autonomía, pueda mantener su residencia en el medio comunitario y en su propio domicilio y que mantenga los mejores cuidados posibles.
- *A Digital Ecosystem Framework for an Interoperable NEtwork-based Society* (DEFINES) (ref. TIN2016-80172-R) [[81](#), [83](#), [84](#), [129-131](#)]. Proyecto financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad en la convocatoria 2016 de proyectos I+D+i del Programa Estatal de Investigación, Desarrollo e Innovación Orientada a los Retos de la Sociedad, con una duración del 1-1-2017 al 31-12-2020. Persigue dos objetivos principales. Por un lado, proponer un ecosistema tecnológico como soporte de servicios para la gestión del conocimiento corporativo. Por otro lado, transformar los actuales procesos de gestión de conocimiento y lograr una mejor adaptación de los mismos al contexto de la Sociedad Digital.

Respecto a las tesis doctorales desarrolladas en el seno de GRIAL, cabe destacar dos trabajos estrechamente relacionados con la presente investigación. En primer lugar, la tesis de Miguel Ángel Conde-González, “Personalización del aprendizaje: *Framework* de servicios para la integración de aplicaciones *online* en los sistemas de gestión del aprendizaje” [[132](#)], dirigida por el Dr. D. Francisco José García-Peñalvo de la

Universidad de Salamanca y el Dr. D. Marc Alíer Forment de la Universidad Politécnica de Barcelona. El principal objetivo de este trabajo fue la definición de un *framework* que permite que las plataformas de aprendizaje o LMS puedan integrarse con los Entornos Personalizados de Aprendizaje (PLE) [133] y la actividad desempeñada en estos últimos quede reflejada dentro del entorno institucional para su consideración de cara a la evaluación y certificación del aprendizaje.

En segundo lugar, la investigación realizada por Juan Cruz-Benito “On data-driven systems analyzing, supporting and enhancing Human-Computer Interaction”, dirigida por el Dr. D. Francisco José García-Peñalvo y el Dr. D. Roberto Therón-Sánchez, ambos de la Universidad de Salamanca. El principal objetivo de este trabajo, cuyo desarrollo se ha llevado a cabo en paralelo a la presente tesis doctoral, radica en explorar cómo se puede realizar la recogida y análisis de la información de la interacción entre usuarios y computadoras para mejorar dicha interacción en diversos escenarios típicos: escenarios de alta interactividad e inmersivos, escenarios con muchos usuarios, escenarios con exceso de información y alta complejidad en tareas [118, 134].

Respecto al Programa de Doctorado Formación en la Sociedad del Conocimiento (<https://knowledgesociety.usal.es>), surge en el seno del Instituto Universitario de Ciencias de la Educación (IUCE – <https://iuce.usal.es>) de la Universidad de Salamanca, siguiendo el Real Decreto 99/2011. El objetivo principal de este Programa de Doctorado es destacar los procesos de enseñanza-aprendizaje como motor de la Sociedad del Conocimiento, para discutir y generar nuevos conocimientos sobre el aprendizaje como elemento clave, incluyendo tanto los estudios de Ciencias Sociales como la nuevos avances tecnológicos pero dentro de un enfoque sinérgico y simbiótico [102, 135].

El enfoque de este Programa es totalmente interdisciplinar, soportado principalmente por los Grupos de Investigación Reconocidos de la Universidad de Salamanca GRIAL (<http://grial.usal.es>), OCA (<http://campus.usal.es/~oca/>), VISUALMED (<http://visualmed.usal.es/>), Robotics and Society Group (<http://gro.usal.es/>) y ELECTRA (<http://electra.usal.es>). Además de estos grupos, se unen al Programa de Doctorado investigadores con líneas de investigación relacionadas con los tópicos del Programa, lo que enriquece el carácter interdisciplinar y multicultural el mismo, al proceder de los ámbitos disciplinares de las Ciencias Sociales (Educación, Comunicación e Información y Documentación), de la Ingeniería y de las Ciencias de la Salud (Medicina). Este grupo de investigadores de la Universidad de Salamanca se ve

completado con un amplio plantel de investigadores nacionales e internacionales, que conforma la vanguardia de las líneas de investigación relacionadas con la Formación en la Sociedad del Conocimiento que, sin pretender ser exhaustivos, cubren los siguientes grandes descriptores o áreas de investigación:

- Evaluación Educativa y Orientación.
- Interacción y *eLearning*.
- Investigación-Innovación en Tecnología Educativa.
- Medios de Comunicación y Educación.
- Medicina y Educación.
- Robótica educativa.
- Ingeniería y Educación.
- Educación y Sociedad de la Información.

Además, el Programa proporciona un entorno donde la creación de conocimiento y su visibilidad y difusión son objetivos principales. Para llegar a ellos, la gestión del conocimiento científico del Programa se apoya en un ecosistema tecnológico que combina tecnología y metodología para proporcionar herramientas tanto a estudiantes de doctorado como a investigadores [136].

Finalmente, desde el punto de vista económico, la presente tesis doctoral ha contado con la financiación del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte del Gobierno de España para la Formación de Profesorado Universitario (FPU014/04783).

1.5 Estructura del documento

La presente tesis doctoral se organiza en seis capítulos cuyo desarrollo sigue los ciclos Investigación-Acción y las correspondientes etapas descritas en la Figura 2. El presente capítulo forma parte del primero de ellos e introduce el desarrollo de este trabajo.

El capítulo 2 establece el contexto tecnológico en el que se desarrolla el problema que se aborda en la tesis. Concretamente, se describen los ecosistemas tecnológicos, con especial hincapié en la gestión del conocimiento.

El capítulo 3 presenta la revisión sistemática de la literatura para evaluar las aportaciones que los diferentes autores han realizado en torno a la definición de la arquitectura y el desarrollo dirigido por modelos en ecosistemas tecnológicos.

El capítulo 4 se centra en la definición y validación del patrón arquitectónico para definir ecosistemas de aprendizaje. Concretamente recoge los dos primeros ciclos de Investigación-Acción. Para ello se analizan las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades de un conjunto de ecosistemas de aprendizaje reales con el objetivo de determinar los principales problemas de este tipo de soluciones tecnológicas. A partir de los problemas se identifican una serie de características que sirven de base teórica para definir el patrón arquitectónico. Posteriormente, se describe el proceso de validación mediante el análisis de los problemas y su solución aplicando el patrón a través del modelado de los procesos de negocio. Finalmente, se presentan tres ecosistemas reales que se han definido y desarrollado utilizando el patrón arquitectónico.

El capítulo 5 recoge la propuesta de ingeniería dirigida por modelos para mejorar la definición y desarrollo de los ecosistemas de aprendizaje. En particular, se define y valida el metamodelo de ecosistema de aprendizaje y se presenta un metamodelo para generar modelos de ecosistema de aprendizaje basados en *software open source*.

Por último, el capítulo 6, se centra en recoger las conclusiones de la tesis. En particular, presenta las principales aportaciones del trabajo de investigación, las posibles líneas de mejora y las principales aportaciones de investigación que respaldan la propuesta realizada.

En cuanto a los apéndices, el Apéndice A recoge el protocolo de revisión definido para encontrar revisiones sistemáticas de la literatura relacionadas con los ecosistemas tecnológicos, como parte de la fase de planificación de la SLR descrita en el Capítulo 3. El Apéndice B muestra la tabla utilizada para realizar el análisis comparativo de cada uno de los análisis individuales descritos en el Capítulo 4.

1.6 Conclusiones

Los ecosistemas tecnológicos orientados a la gestión del conocimiento y los procesos de aprendizaje en instituciones y empresas suponen una evolución frente a los sistemas de información tradicionales, pero a su vez introducen una mayor complejidad en los procesos de definición y desarrollado. Este tipo de soluciones tecnológicas implican un mayor número de componentes tecnológicos con características heterogéneas, lo que incrementa exponencialmente los problemas relacionados con la evolución del ecosistema a largo plazo, ya que se establecen un mayor número de dependencias.

A pesar de los problemas de este enfoque tecnológico relativamente nuevo, las primeras referencias en la literatura se remontan a 2005 [29] y 2007 [137, 138] de acuerdo a la revisión sistemática realizada por Manikas y Hansen [28], son capaces de cubrir las necesidades emergentes en la actual Sociedad del Conocimiento, donde el elemento central reside en la capacidad de gestionar el conocimiento y, más concretamente, en los procesos de enseñanza-aprendizaje dentro de las instituciones y empresas.

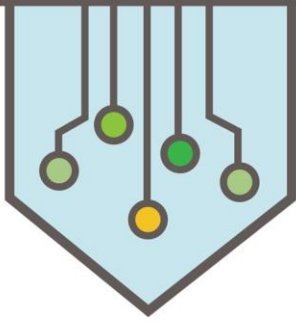
En este contexto surge la necesidad de mejorar los procesos formales para definir y desarrollar este tipo de soluciones donde la tecnología y las personas son componentes fundamentales, donde, además, se considera el factor humano más allá de usuarios o desarrolladores del ecosistema, como partes consustanciales del mismo, tal y como los factores bióticos lo son en los ecosistemas naturales.

La hipótesis formulada permite establecer un conjunto de objetivos a alcanzar mediante la presente tesis doctoral, de forma que el objetivo principal es la definición de una solución de ingeniería del *software* orientada a mejorar los procesos formales de definición y desarrollo de los ecosistemas de aprendizaje. Para alcanzar este objetivo se precisa de la definición de un patrón arquitectónico que permita sustentar la definición de los ecosistemas de aprendizaje y que, a su vez, sirva de base para definir el metamodelo que permita utilizar ingeniería dirigida por modelos para resolver los problemas de este tipo de soluciones tecnológicas.

Para alcanzar estos objetivos se ha utilizado como marco metodológico de Investigación-Acción, de tal forma que se han planteado tres ciclos de Investigación-Acción (Figura 2) divididos en cuatro etapas, planificación, actuación, observación y reflexión. En cada una de esas etapas se han utilizado otra serie de metodologías aunque cabe destacar el uso de la metodología utilizada para la revisión de la literatura, *Systematic Literature Review*, adaptada al contexto tecnológico por Kitchenham [67, 89, 90], y la metodología Scrum para el desarrollo de los diferentes casos de estudio realizados como parte de las fases de validación de resultados.

Por último, es importante destacar la relevancia que toma en este trabajo de investigación el uso de *software open source* como base tecnológica de los ecosistemas de aprendizaje. El marco en el que se desarrollo este trabajo, desde el Programa de Doctorado hasta la propia Universidad de Salamanca, apuestan por el conocimiento abierto [139, 140], impulsando políticas que soportan la gestión del conocimiento en esta dirección. En el caso de los ecosistemas tecnológicos para la gestión del

conocimiento abierto los componentes *software* utilizados deben promover el acceso libre a la información, la investigación y la producción de aprendizaje, es decir, se debe utilizar *software* libre tanto para los componentes ya existentes como para los desarrollados a medida.



Capítulo 2

Los ecosistemas tecnológicos

La metáfora de ecosistema se comienza a aplicar al contexto tecnológico a comienzos del tercer milenio. Los primeros términos que aparecen en la literatura hacen referencia a los ecosistemas *software* o SECO [26], para posteriormente dar paso a términos como ecosistema de información, ecosistema digital, ecosistema abierto o ecosistema tecnológico entre otros. Cada uno de estos términos posee diferentes matices, pero todos ellos comparten la noción de ecosistema para definir sistemas complejos contruidos a partir de diferentes componentes *software*.

En la Sociedad del Conocimiento, la correcta gestión del conocimiento desde el punto de vista del aprendizaje es un pilar dentro de cualquier tipo de organización, independientemente de su tamaño o de la actividad que desarrolle. Desde las pequeñas y medianas empresas (PYME), hasta instituciones como las Universidades o la Administración Pública, incorporan dentro de sus procesos mecanismos que permiten la gestión del conocimiento. Los ecosistemas tecnológicos se posicionan como una solución desde el punto de vista de la tecnología para dar soporte a los procesos que permiten la gestión del conocimiento en contextos de diversa índole.

A lo largo de este capítulo se profundiza en el contexto tecnológico en el que se desarrolla la presente investigación. En primer lugar, se realiza una introducción a los

conceptos relacionados con la gestión del conocimiento y el papel de los ecosistemas tecnológicos en los procesos asociados. Después se plantea la definición de ecosistema tecnológico a partir de las definiciones encontradas en la literatura, para lo que se han tenido en cuenta términos como ecosistema *software* y ecosistema digital. Por último, se analizar la relación entre ecosistema natural y ecosistema tecnológico para sustentar la definición propuesta previamente.

2.1 Gestión del conocimiento

Aquello anteriormente conocido como Sociedad de la Información ha sufrido una fuerte evolución en los últimos años dando paso a lo que actualmente denominamos Sociedad del Conocimiento. Las cuestiones centradas en la tecnología como elemento principal en la Sociedad de la Información han permitido el desarrollo de Sociedades del Conocimiento en las que el elemento central es la capacidad para identificar, producir, tratar, transformar, difundir y utilizar la información con vistas a crear y aplicar los conocimientos necesarios para el desarrollo humano [141]. Según Castells [142] la Sociedad del Conocimiento es una sociedad en la que las condiciones de generación de conocimiento y procesamiento de información han sido sustancialmente alteradas por una revolución tecnológica centrada en el procesamiento de información, en la generación del conocimiento y en las tecnologías de la información.

La Sociedad del Conocimiento se trata de una Sociedad del Aprendizaje, donde el aprendizaje es el factor principal a la hora de que las personas, las empresas, las regiones y los países alcancen el éxito [143].

En este contexto, la gestión del conocimiento surge como una ventaja competitiva [144] de tal forma que las organizaciones dedican parte de sus recursos a desarrollar su capacidad para compartir, crear y aplicar nuevos conocimientos de forma continuada a lo largo del tiempo [145].

De acuerdo con King [146], se puede definir la gestión del conocimiento como la planificación, organización, motivación y control de personas, procesos y sistemas en una organización para garantizar que sus activos relacionados con el conocimiento se mejoren y se empleen efectivamente. Dentro de una organización, el conocimiento no son únicamente los documentos electrónicos o impresos, el conocimiento que poseen los empleado y el conocimiento implícito en los procesos de la organización son parte de los activos relacionados con el conocimiento [146]. Uit Beijerse [147] define la

gestión del conocimiento como el éxito de los objetivos de la organización haciendo que el factor conocimiento sea productivo, incluida la totalidad de los sistemas con los que se puede gestionar y acceder a la información dentro de una organización. Según Jelenic [148], la gestión del conocimiento no solo está asociada a gestionarlo como un recurso, sino también a la gestión de los procesos de negocio que se llevan a cabo utilizando dicho recurso.

El conocimiento se ha convertido en el factor estratégico más importante en las operaciones corporativas [149], ya que está asociado con las capacidades de las empresas para lograr una ventaja competitiva [150]. En consecuencia, las instituciones deben encontrar formas de gestionar adecuadamente el conocimiento, lo que plantea un desafío particular para las entidades más pequeñas, ya que generalmente carecen de los recursos necesarios para hacer un uso completo del conocimiento que poseen [151]. De acuerdo con Cohen y Kaimenakis [152] los recursos limitados y las diferentes capacidades y prácticas de gestión son las principales diferencias entre las PYME y las grandes empresas.

En relación a la gestión del conocimiento en la pequeña y mediana empresa, existen diferentes trabajos en la literatura que abordan el problema. Nunes et al. [153] concluyen que las PYMES no pueden permitirse la inversión necesaria para establecer un valor de negocio fiable para la gestión del conocimiento. Wickert y Herschel [154] destacan que las pequeñas y medianas empresas a menudo experimentan una erosión del conocimiento debido al abandono de un empleado clave, ya sea por jubilación o por irse a trabajar a la organización de un competidor. Desouza y Awazu [155] muestran que las PYMES no manejan el conocimiento de igual forma que las grandes organizaciones, tienen limitaciones de recursos y, por lo tanto, deben ser creativas e inteligentes para trabajar en torno a estas limitaciones.

Según [156], la literatura relacionada con el desarrollo de proyectos exitosos de gestión del conocimiento en las grandes empresas es extensa, en contraste con la escasa atención que se ha prestado a las PYME con respecto a este tema. A pesar de ello, las grandes empresas continúan teniendo problemas de gestión del conocimiento que deben abordar. En organizaciones grandes, puede ser difícil localizar quién tiene el conocimiento sobre los procesos de negocio o las actividades desarrolladas dentro de la organización. Por tanto, el conocimiento debe recopilarse sistemáticamente, almacenarse en una memoria corporativa y compartirse en toda la organización [157].

En su estudio para comprender cómo las empresas manejan el conocimiento, Davenport et al. [158] enumeran ocho factores específicos que son comunes a los proyectos de conocimiento analizados: (1) el vínculo con el desempeño económico o el valor de la industria; (2) la infraestructura técnica y organizacional; (3) la estructura de conocimiento estándar y flexible; (4) la cultura amigable con el conocimiento; (5) el propósito y el lenguaje claros; (6) el cambio en las prácticas de motivación; (7) los múltiples canales para la transferencia de conocimiento; y (8) el apoyo de los altos cargos. Además, destacan que la gestión del conocimiento puede ser costosa, por lo que una organización se centra en la gestión del conocimiento únicamente cuando estos procesos están de alguna manera vinculados a un beneficio económico o una ventaja competitiva.

2.1.1 Ciclo de vida del conocimiento

La gestión del conocimiento tiene un ciclo de vida conocido como proceso de gestión del conocimiento. Hay varios modelos de procesos de gestión del conocimiento. Davenport y Prusak [159] identifican cuatro procesos de conocimiento: generación de conocimiento (creación y adquisición de conocimiento), codificación de conocimiento (almacenamiento), transferencia de conocimiento (intercambio) y aplicación de conocimiento. Birkinshaw et al. [160] presentan el ciclo de vida del conocimiento como una curva en S con cuatro etapas: creación, movilización, difusión y mercantilización; y las implicaciones estratégicas para ayudar a las empresas a navegar en cada etapa del ciclo de vida del conocimiento. De acuerdo con Staab et al. [161], el proceso de conocimiento tiene cuatro dimensiones: creación, captura, recuperación y acceso, y uso. Ward y Aurum [162] proponen un modelo de siete etapas: creación de conocimiento, adquisición de conocimiento, identificación de conocimiento, adaptación de conocimiento, organización de conocimiento, distribución de conocimiento y aplicación de conocimiento.

Según Nonaka y Takeuchi [144] existen dos tipos de conocimiento en función de su naturaleza, el conocimiento explícito y el conocimiento implícito o tácito, cuya interacción permite generar nuevo conocimiento. El conocimiento explícito se trata de un conocimiento estructural, almacenable y distribuible que implica un compromiso por parte del individuo. En cuanto al conocimiento implícito, se trata de un conocimiento condicionado por factores no tangibles, como el contexto sociocultural de la persona, que no es posible almacenar o distribuir. De acuerdo con este planteamiento,

los procesos de gestión del conocimiento deben ser capaces de dar soporte a la transferencia de conocimiento implícito a conocimiento explícito, para ello plantean la espiral de creación de conocimiento (Figura 4), también denominado modelo SECI [144, 163], que abarca cuatro actividades: socialización, externalización, combinación e interiorización.

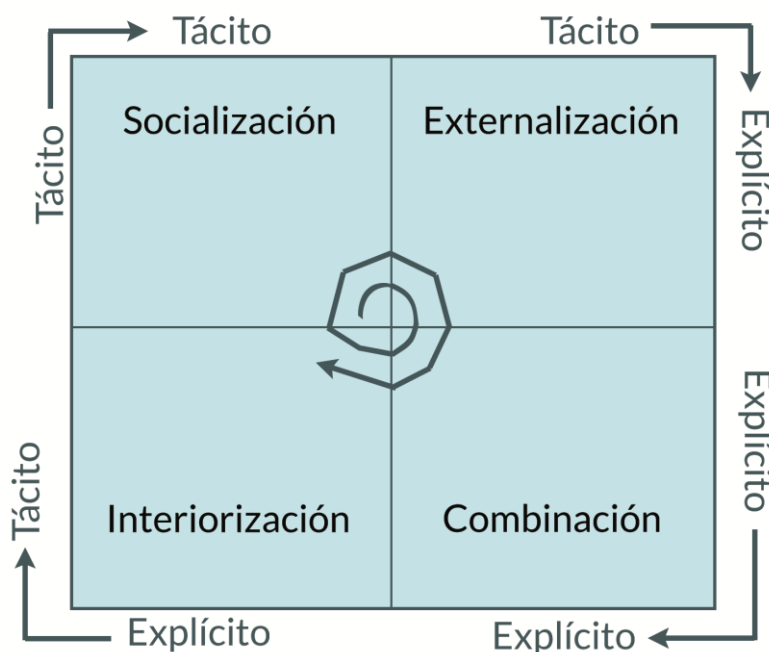


Figura 4. modelo SECI. Fuente: Basado en [164]

La revisión de la literatura descrita en [165] identifica las dimensiones más comúnmente utilizadas y determina como dimensiones de la gestión del conocimiento las siguientes: creación (aprendizaje organizativo), ligada a la adquisición interna de conocimiento y a la capacidad de aprendizaje; almacenamiento y transferencia (conocimiento organizativo), asociada a flujos de aprendizaje, compartir conocimiento intraorganizativo, articulación del conocimiento y su almacenamiento; y aplicación y uso (organización de aprendizaje), relacionada con prácticas de conocimiento, tales como, dominio personal, apertura y experimentación, visión compartida, cultura organizativa y orientación al aprendizaje y de sistemas.

2.1.2 Sistemas de gestión del conocimiento

Desde el punto de vista tecnológico, el desarrollo de Internet y de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en los años 90 supone un impulso para la Sociedad de la Información, donde la generación, el procesamiento y la transmisión de información se convierten en las fuentes fundamentales de la productividad y el poder

gracias a los sistemas de información [166]. En cambio, en la Sociedad del Conocimiento, el aprendizaje, la transformación de conocimiento tácito en explícito, de conocimiento individual en grupal, es el eje central, de tal forma que la tecnología se posiciona como un soporte a los procesos de gestión del conocimiento. Los sistemas de gestión del conocimiento proporcionan las herramientas necesarias para dar soporte a los procesos y facilitar el acceso y reutilización del conocimiento [167], pero no solo deben abarcar cuestiones tecnológicas sino que deben ir acompañadas de elementos metodológicos que permitan la optimización de los recursos relacionados con el conocimiento [168]. Existe, por tanto, la necesidad de modelos innovadores para la gestión del conocimiento enfocado tanto al desarrollo personal como organizacional [169]. Los modelos planteados en la literatura para gestionar el conocimiento se centran en el factor humano, bien como individuo o como grupo u organización, y sitúan la tecnología como un elemento más dentro del modelo.

En este contexto surge el Modelo Suricata [170], una propuesta arquitectónica *bottom-up* organizada en cinco capas (Figura 5) que van desde la infraestructura tecnológica que abarca *software*, *hardware* y comunicaciones con una filosofía *open source*, hasta el portal personalizado del trabajador de conocimiento, a través del cual el usuario interactúa con todas las capas de la arquitectura de modo transparente [171]. Este modelo se sustenta sobre un modelo de aprendizaje y de sociedad basado en la inclusión y la participación, *Web Knowledge Turbine* (WKT) [172].

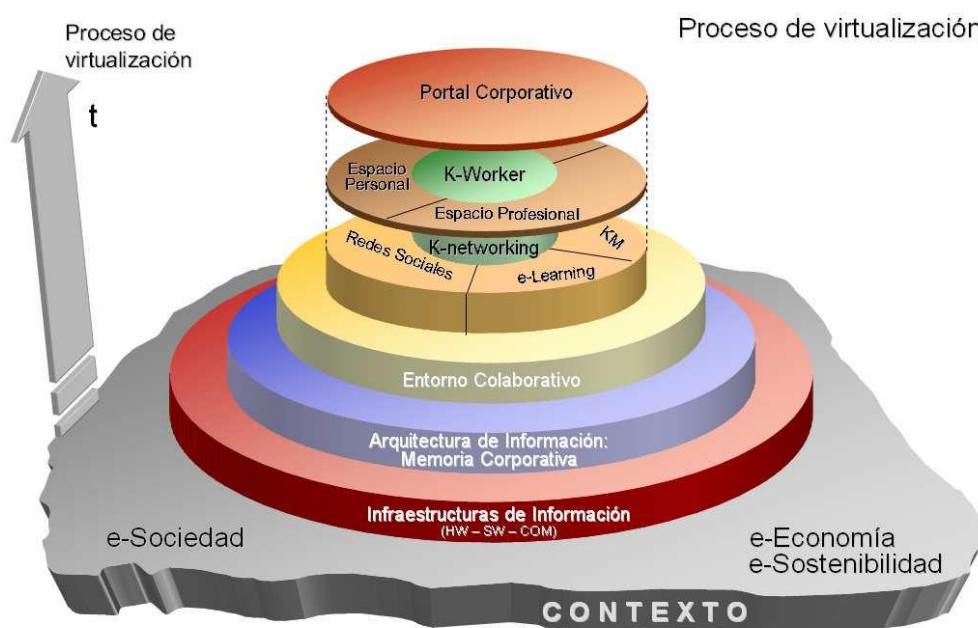


Figura 5. Modelo Suricata. Fuente: [170, 173]

Cabe destacar también el modelo propuesto por Fidalgo-Blanco et al. [4] para transformar la experiencia de diferentes instituciones en conocimiento de la organización aplicable a toda la educación superior. Para ello plantea un modelo basado en las espirales de conocimiento propuestas por [174], la espiral epistemológica (interacción entre tipos de conocimiento) y la espiral ontológica (interacción entre el conocimiento de las personas y las organizaciones). En este modelo el sistema de gestión del conocimiento permite clasificar, organizar, distribuir y facilitar la aplicación del conocimiento generado por el profesor.

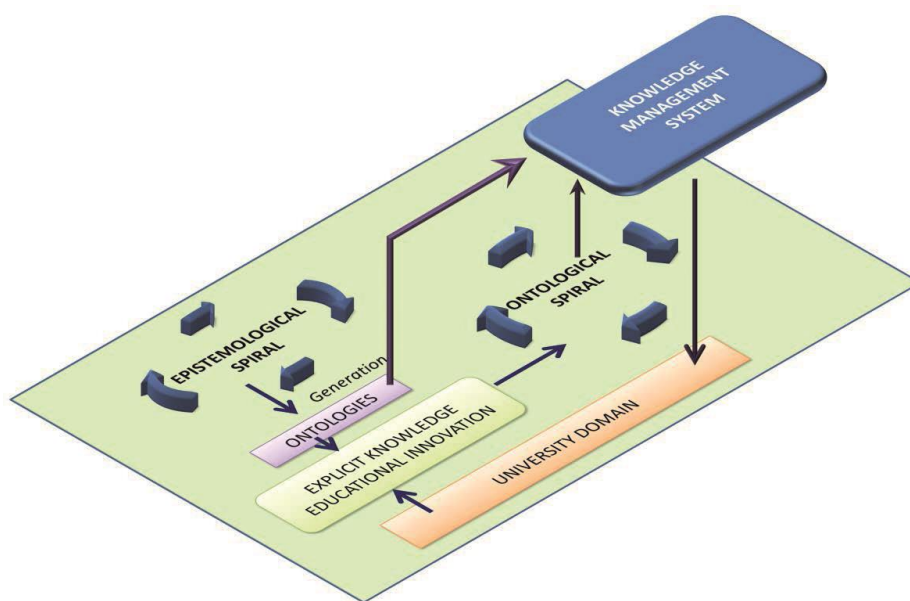


Figura 6. Flujo del conocimiento en el modelo de espirales de conocimiento en innovación docente en educación superior. Fuente: [4].

Los ecosistemas tecnológicos, considerados la evolución de los sistemas de información tradicionales [175, 176], se posicionan como sistemas de gestión del conocimiento que abarcan tanto la componente tecnológica como el factor humano. De acuerdo con [28, 177] las instituciones adoptan una estrategia de ecosistema *software* para ampliar sus límites organizacionales, compartir sus plataformas y recursos con terceros y definir nuevos modelos de negocios. En el caso de que la gestión del conocimiento esté dirigida a apoyar procesos de aprendizaje, el ecosistema tecnológico se denomina ecosistema de aprendizaje. Llorens-Largo et al. [178] define un ecosistema de aprendizaje como una "comunidad, con métodos educativos, políticas, reglamentos, aplicaciones y equipos de trabajo, que pueden coexistir para que sus procesos estén interrelacionados, y su aplicación se base en los factores físicos del entorno tecnológico". Permiten establecer ecologías de aprendizaje, ambientes de aprendizaje con un fuerte componente

interactivo que permite el intercambio de conocimiento tanto de manera formal como informal.

2.1.3 Ecología del aprendizaje

En el ámbito educativo, los ecosistemas tecnológicos para el aprendizaje permiten establecer ecologías de aprendizaje, entornos de aprendizaje con una fuerte componente interactiva que permiten el intercambio de conocimiento de manera informal y desestructurada. Siemens [179] afirma que una ecología de aprendizaje es aquella en la que el acceso del alumno a la información no se ve obstaculizado, los experimentos y los fallos son tolerados (incluso alentados) como parte del proceso de innovación y el conocimiento es compartido y transparente, lo que permite la co-creación y la recreación por otros.

Según García-Peñalvo [40] una ecología de aprendizaje se compone de cuatro componentes fundamentales: los usuarios, la tecnología, las interacciones y la interoperabilidad. La Figura 7 muestra las relaciones que se establecen entre los diferentes componentes.

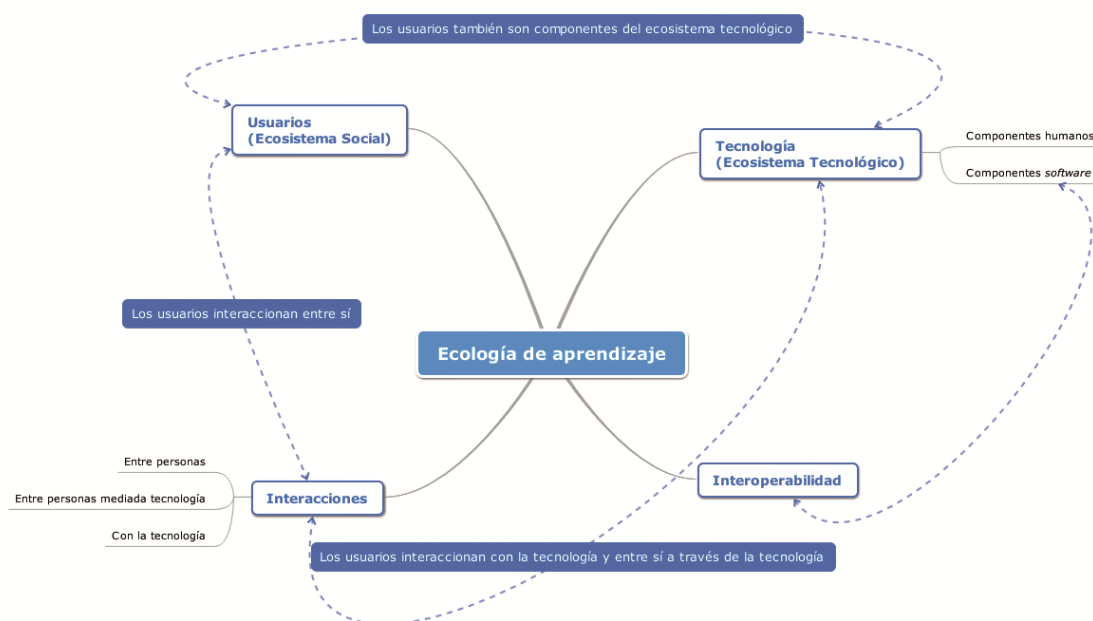


Figura 7. Componentes e interacción en una ecología de aprendizaje. Fuente: [40]

De acuerdo con Rubio Royo [180] y García-Peñalvo [40], una ecología de aprendizaje se caracteriza por:

1. Presentar una naturaleza compleja del nuevo entorno vital expandido en Internet.

2. Tomar a la teoría de la complejidad como enfoque conceptual.
3. Adoptar Internet como infraestructura de transformación disruptiva.
4. Cambiar las estructuras de organización, de jerarquías a redes distribuidas “redarquías”.
5. Ser congruente con la naturaleza abierta y social del conocimiento *online* [181, 182].
6. Definir la gestión de la complejidad como principal reto.
7. Orientarse hacia una sociedad intensiva en aprendizaje (con una importancia creciente del aprendizaje informal) [183].
8. Hacia una cultura digital de la interdependencia, colaboración y sostenibilidad.
9. Tener muy presente la personalización (individualización), la persona como organización individual emergente, como agente nuclear del cambio y responsable de su adecuación personal a la nueva ecología del aprendizaje [184].

2.2 Definición de ecosistema tecnológico

La metáfora de ecosistema, que proviene del área de la biología, se utiliza en diferentes contextos para transmitir la naturaleza evolutiva de procesos, actividades y relaciones. Históricamente se ha utilizado el término ecosistema en áreas relacionadas con las ciencias sociales, y en contextos empresariales bajo el concepto ecosistema de negocios [24]. Iansiti y Levien [25] son los primeros en relacionar la tecnología con los ecosistemas de negocios al afirmar que estos evolucionan alrededor de una plataforma. Más adelante, [185] añade el término digital, ecosistema digital de negocios, definido por Nachira [18] como un desarrollo socioeconómico catalizado por las TIC. La relación entre ecosistema de negocios y ecosistema *software* queda patente en el mapeo sistemático de la literatura realizado Barbosa y Alves [53], donde se sostiene que los ecosistemas de negocios son el origen de la investigación sobre ecosistemas *software* de acuerdo a [27, 186-191].

De acuerdo con Manikas y Hansen [28], la primera definición de ecosistema *software* aparece en Messerschmitt y Szyperski [29] como una colección de productos *software* que tienen algún grado de relaciones simbióticas. Más tarde Lungu [36] los define como una colección de sistemas *software* o proyectos *software* [192], que son desarrollados y coevolucionan en el mismo entorno. Más adelante, Jansen et al. [27] plantean una de las definiciones más utilizadas en la literatura de acuerdo a la revisión de Manikas, un ecosistema *software* es un conjunto de actores que funcionan como una unidad e

interactúan con un mercado común de *software* y servicios, junto con las relaciones entre ellos. Estas relaciones se basan frecuentemente en una plataforma o mercado tecnológico común y operan a través del intercambio de información, recursos y artefactos.

Bosch define los ecosistemas *software* en 2009 como el conjunto de soluciones *software* que permiten, respaldan y automatizan las actividades y transacciones de los actores en el ecosistema social o empresarial asociado y las organizaciones que brindan estas soluciones [193]. Y más adelante, junto con Bosch-Sijtsema [194, 195], afirma que un ecosistema *software* consiste en una plataforma *software*, un conjunto de desarrolladores internos y externos y una comunidad de expertos en el dominio al servicio de una comunidad de usuarios que combinan elementos de la solución pertinentes para satisfacer sus necesidades.

Manikas y Hansen [28] identifican tres elementos clave que aparecen en todas las definiciones encontradas en la literatura y plantean el ecosistema *software* como la interacción de un conjunto de actores sobre una plataforma tecnológica común que da como resultado una serie de soluciones y servicios *software*.

Hay autores que distinguen tipos de ecosistemas *software* o SECO. Fontão et al. [196] realizan una revisión sistemática de la literatura sobre los ecosistemas *software* móviles o MSECO, para ello parten de la definición propuesta por Lin y Ye [197] donde un MSECO es un conjunto de sistemas colaborativos, usuarios y desarrolladores que crean relaciones complejas impulsadas por la competencia y la cooperación dentro de nichos – similar a los ecosistemas biológicos. Por otro lado, hay autores que se centran únicamente en ecosistemas *software open source* o OSSECO. Franco-Bedoya et al. [198] definen un OSSECO como un SECO ubicado en un entorno heterogéneo, cuyo límite es un conjunto de piezas de nicho y cuya pieza clave es una comunidad de *software open source* en torno a un conjunto de proyectos en una plataforma abierta común.

El término ecosistema *software* es el más utilizado en la literatura, pero no es el único al que hacen referencia los autores para hablar de este tipo de soluciones *software*. Términos como ecosistema digital, ecosistema de servicios o ecosistema tecnológico son utilizados en diferentes trabajos indexados en las principales bases de datos científicas.

Pillai et al. [199] habla de ecosistema digital para referirse a un sistema basado en computadora para administrar una red abierta y débilmente acoplada de nodos y

enlaces TIC auto-organizados. Consta principalmente de dos elementos, a saber, las especies digitales y el medio. Más tarde, en 2015, Ostadzadeh et al. [200] plantea los ecosistemas digitales como ecosistemas socio-técnicos, cuyos elementos son grupos de personas junto con su entorno computación y físico. El uso del término socio-técnico a la hora de definir ecosistemas en el ámbito tecnológico aparece también en la definición de Ruokolainen [54, 201, 202] para hablar de ecosistema de servicio, un sistema socio-técnico complejo que permite colaboraciones basadas en servicios entre entidades tales como empresas, instituciones o individuos.

También hablan de ecosistema de servicios *software* Shen et al. [203], como un conjunto de actores y recursos (servicios, herramientas, plataformas, información, *hardware*) que funcionan como un todo, desarrollándose y evolucionando juntos, tales como Google App Engine, Salesforce y Amazon.

La mayor parte de las definiciones encontradas en la literatura, en su mayoría relacionadas con el término ecosistema *software*, hacen referencia a ecosistemas que tienen un sistema o plataforma *software* central que proporciona un conjunto de funcionalidad básica y que ofrece los medios para que usuarios o desarrolladores contribuyan con servicios y componentes *software* que permiten extender la funcionalidad del ecosistema [35, 204, 205]. Algunas definiciones hacen especial énfasis en el factor humano a través de actores [27, 28, 194, 195, 200, 203], bien como desarrolladores o como usuarios del ecosistema, o mediante la gestión del propio ecosistema [206], pero ninguna definición plantea el factor humano al mismo nivel que la tecnología, no solo como usuarios o desarrolladores, sino como elementos del propio ecosistema.

El presente trabajo de investigación considera ecosistemas en los que no existe un elemento central o una plataforma común, los componentes *software* del ecosistema son heterogéneos, de tal forma que pueden estar desarrollados en diferentes lenguajes de programación, pueden tener requisitos *software* y/o *hardware* distintos y los usuarios pueden ser de muchos tipos y perfiles. Además, se considera a las personas como un componente más del ecosistema, no solo presentes en forma de usuarios, desarrolladores o gestores, sino mediante la metodología, los modelos de gestión del conocimiento, etc. Para denominar este tipo de ecosistemas el presente trabajo de investigación plantea el uso del término ecosistema tecnológico. Este término aparece

en la literatura relacionado con contextos de aprendizaje o gestión de conocimiento [178, 207-211].

La presente tesis doctoral utiliza la definición de ecosistema natural para definir los ecosistemas tecnológicos, para ello extrapola los principales elementos del ecosistema natural al ámbito de la tecnología, de tal forma que los factores bióticos son las personas y los componentes *software*; las relaciones entre los organismos son los flujos de información que se establecen entre los elementos mencionados, mientras que los factores abióticos son los elementos que permiten el funcionamiento del ecosistema (*hardware*, conexión de red, etc.). De esta forma, se propone la siguiente definición:

Un ecosistema tecnológico es un conjunto personas y componentes *software* que se relacionan entre sí mediante flujos de información en un medio físico que proporciona el soporte para dichos flujos.

2.3 Naturaleza vs. tecnología

De acuerdo a la revisión sistemática de la literatura realizada por Barbosa y Alves [53] los ecosistemas *software* están relacionados con los ecosistemas naturales, con las líneas de productos *software* y con los ecosistemas de negocios. La relación entre naturaleza y tecnología queda patente en otras áreas de la informática como la inteligencia artificial [212, 213]. En el caso de los ecosistemas *software*, diversos autores han analizado la relación que se establece con los ecosistemas naturales [31-34].

El uso del concepto ecosistema natural se aplica al ámbito tecnológico no como una estrategia de *marketing*, sino para reflejar un conjunto de características o propiedades de los ecosistemas naturales que pueden transferirse a los ecosistemas tecnológicos o ecosistemas *software* con el fin de proporcionar soluciones que permitan resolver los problemas de gestión del conocimiento y que se adapten a los constantes cambios que sufre cualquier tipo de entidad o contexto en el que se despliega algún tipo de solución tecnológica.

En las siguientes secciones se plantean los conceptos básicos sobre ecosistemas naturales y se trasladan al contexto tecnológico.

2.3.1 Definición de ecosistema natural

El término ecosistema fue acuñado en 1930 por Roy Clapham [214], para designar el conjunto de componentes físicos y biológicos de un entorno que se relacionan unos con otros como una unidad. Según la Real Academia de Lengua Española un ecosistema es

la “comunidad de los seres vivos cuyos procesos vitales se relacionan entre sí y se desarrollan en función de los factores físicos de un mismo ambiente” [215]. En la Enciclopedia Británica se define ecosistema como “el conjunto de organismos vivos, su ambiente físico, y todas sus interrelaciones en una unidad particular de espacio” [216]. El *American Heritage Science Dictionary* incluye la siguiente definición de ecosistema: “una comunidad de organismos, junto con su entorno físico, visto como un sistema de interacciones y relaciones interdependientes y que incluye procesos tales como el flujo de energía a través de los niveles tróficos y el ciclo de los elementos y compuestos químicos a través de los componentes vivos y no vivos del sistema”. De acuerdo con el blog *Biology Online*, “un ecosistema es un sistema que incluye todos los organismos vivos (factores bióticos) en un área así como el entorno físico (factores abióticos) que funcionan juntos como una unidad” [217]. El Diccionario Enciclopédico Vox lo define como la “unidad fundamental ecológica, constituida por la interrelación de los seres vivos con el medio que ocupan” [218]. Laanpere proporciona su propia definición “una comunidad de organismos vivos (plantas, animales y microbios) en conjunción con componentes inertes del entorno (cosas tales como el aire, el agua y el suelo mineral) interactuando como un sistema” [33].

Si se observan estas y otras definiciones, hay tres elementos que forman parte de todo ecosistema natural y que están presentes en todas las definiciones [219]:

- Organismos, cada uno de los cuales intenta cubrir sus funciones básicas: comer, reproducirse y respirar.
- El medio físico o hábitat en el cual los organismos llevan a cabo sus funciones básicas.
- El conjunto de relaciones entre los organismos, entre sí y con el medio.

2.3.2 Especies y hábitat digital

La relación entre lo natural y lo tecnológico se repite en diversos autores que utilizan la definición de ecosistema natural para sustentar su propia definición de ecosistema tecnológico. Según Dhungana et al. [30] un ecosistema *software* se puede comparar a un ecosistema biológico, desde la perspectiva de la gestión de recursos y la biodiversidad, haciendo especial hincapié en la importancia de la diversidad, y del apoyo a la interacción social.

En el trabajo elaborado en 2002 por Nachira para la Comisión Europea, compara los ecosistemas digitales con ecosistemas naturales apelando al término “especies digitales” para hablar de los elementos que componen un ecosistema digital. Estas “especies digitales”, como las especies en términos biológicos, interactúan, expresan un comportamiento independiente, al final evolucionan, o se extinguen, siguiendo las leyes de selección del mercado [18].

El término especie digital también es mencionado por otros autores [199] para hacer referencia a los componentes *software* del ecosistema. Chang y West [31] distinguen tres tipos de especies que forman parte de un ecosistema digital: biológicas, para representar a las personas que forman parte del ecosistema; económicas, que representan a las organizaciones; y digitales. Laanpere [33] plantea un mapa conceptual donde relaciona los conceptos biológicos con los tecnológicos, donde además de especies digitales habla de hábitat digital proporcionado no solo por la infraestructura tecnológica sino también por las leyes, la cultura o los factores económicos.

Por otro lado, Mens et al. [35] equipara las especies biológicas con los proyectos y las personas que contribuyen a los mismos (usuarios, desarrolladores, etc.). En cambio, considera las herramientas *software* y *hardware* como parte del hábitat digital. Lo mismo ocurre con [37], que habla de ecosistema *software* como un conjunto de sistemas *software* que desempeñan el papel de organismos (Figura 8).

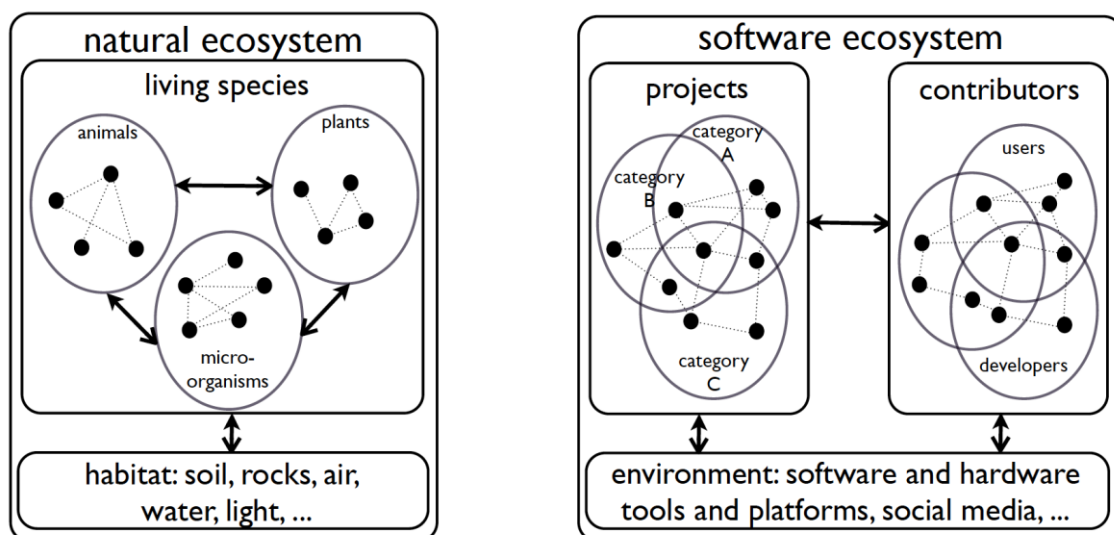


Figura 8. Ecosistema natural versus ecosistema software según Mens. Fuente: [35, 220]

Así mismo, Dhungana et al. [30] inciden en la importancia de la diversidad en los ecosistemas *software* como reflejo del concepto de biodiversidad en la naturaleza. La

biodiversidad refleja el número, la variedad y la variabilidad de los organismos vivos y cómo estos cambian de un lugar a otro y con el paso del tiempo [221]. Nachira [18] también hace referencia a la diversidad en los ecosistemas digitales, indica que deberían estar poblados por un número suficiente de especies (una masa crítica de especies digitales) para ser atractivos para el mercado y continuar existiendo.

En los ecosistemas tecnológicos la diversidad implica diferentes componentes *software* y personas heterogéneas involucradas en el propio ecosistema. Por ejemplo, un ecosistema con dos componentes *software* es más vulnerable frente a cambios y merma su capacidad de proporcionar servicios de gran valor para sus usuarios o la entidad. Del mismo modo, un ecosistema donde las personas involucradas como parte del mismo tengan un perfil homogéneo supone una desventaja a la hora de afrontar cambios porque no contará con el análisis de diferentes puntos de vista.

En la definición propuesta en la presente tesis doctoral se considera que los componentes o sistemas *software* son las especies digitales, aunque no son las únicas especies que forman los factores bióticos del ecosistema, las personas también son consideradas organismos en un ecosistema tecnológico. Respecto al hábitat digital, se considera todo aquello que permite que las especies digitales y las personas lleven a cabo sus funciones, es decir, la infraestructura tecnológica, el contexto empresarial, el contexto cultural, etc.

2.3.3 Las personas como generadores de cambio

Como ya se ha mencionado, las personas no son solo usuarios finales sino también un componente importante de los ecosistemas tecnológicos. Tienen un papel fundamental en el ciclo de vida de los ecosistemas, al igual que ocurre en los ecosistemas naturales. En los ecosistemas naturales, un generador de cambio es cualquier factor natural o inducido por el ser humano que causa directa o indirectamente un cambio en el ecosistema [222]. Por ejemplo, el cambio de hábitat, el cambio climático, las especies exóticas invasoras, la sobreexplotación y la contaminación son generadores directos. Los generadores indirectos son la población, la actividad económica y la tecnología, así como los factores sociopolíticos y culturales, porque influyen en uno o más generadores directos [223]. En los ecosistemas tecnológicos en general también hay conductores; factores tecnológicos o inducidos por el hombre que causan cambios en los ecosistemas. Por ejemplo, los generadores directos son los flujos de trabajo, el perfil de los empleados o estudiantes y la información manejada, mientras que los generadores indirectos son

los factores culturales, la actividad económica, las políticas de la organización, el mercado, la obsolescencia programada y los cambios de licencia.

Las personas tienen un fuerte impacto en ambos tipos de ecosistemas. Las acciones humanas provocan impactos en los ecosistemas naturales y en los tecnológicos, tanto dañinos como beneficiosos.

Al igual que las personas tienen que trabajar para mejorar su papel como generadores de cambio de los ecosistemas naturales para mitigar muchas de las consecuencias negativas de las crecientes presiones sobre los ecosistemas [223], desde el punto de vista tecnológico, las herramientas y los métodos para definir y desarrollar ecosistemas deben tener en cuenta el importante papel que las personas tienen en su éxito o fracaso.

El énfasis en la integración del factor humano en la definición de soluciones tecnológicas no siempre ha formado parte de los procesos formales para definir y desarrollar *software*. La historia temprana de la ingeniería del *software* estuvo fuertemente influenciada por un enfoque altamente formal y matemático para especificar componentes *software*, con un enfoque reduccionista para derivar programas *software* que implementaban correctamente las especificaciones formales. Se practicó una separación de responsabilidades, en la que la responsabilidad de producir requisitos *software* formalizables se dejó a los demás [224]. Un ejemplo de cita que ilustra este enfoque es “La noción de ‘usuario’ no se puede definir con precisión y, por tanto, no tiene cabida en ciencias de la computación o ingeniería del *software*” [225]. Desde esta declaración de Dijkstra la participación del usuario final se ha vuelto relevante en las actividades de ingeniería del *software* tales como la elicitación de requisitos. La elicitación de requisitos tradicionalmente se ha centrado en satisfacer las necesidades de la mayoría de los usuarios [226]. Sin embargo, otros paradigmas *software*, como la informática orientada a servicios, introducen la identificación de las necesidades individuales de los usuarios como un requisito previo para la personalización y la adaptación del *software* [227].

Booher [228] resume el énfasis del aumento en la integración de los factores humanos en la ingeniería de sistemas. Defiende un enfoque centrado en el factor humano para lograr incrementos dramáticos en el rendimiento del sistema y la productividad, además de reducciones dramáticas en los problemas en contextos donde la tecnología juega un papel fundamental. Tanto Booher [228] como Knodel y Manikas [229] ratifican que el factor humano debe considerarse un componente crítico en sistemas complejos,

lo que apoya la necesidad de incorporar dicho factor como parte inherente de los ecosistemas tecnológicos.

2.3.4 Evolución de los ecosistemas

La principal idea de la teoría de la evolución por selección natural propuesta por Darwin [230] plantea que debido a que los recursos son limitados en la naturaleza, los organismos con rasgos heredables que favorezcan la supervivencia y la reproducción tenderán a dejar una mayor descendencia que sus pares, lo que hace que la frecuencia de esas características aumente a lo largo de varias generaciones. Este mecanismo de evolución también está presente en los ecosistemas naturales. De acuerdo a Nachira [18] las especies menos adaptadas, es decir, los servicios que no son interesantes para el mercado, se usan cada vez menos y cada vez están menos presentes en los ecosistemas, hasta que desaparecen. Nuevas especies innovadoras más evolucionadas (servicios digitales, pero también modelos comerciales innovadores, servicios sectoriales) aparecen continuamente y decretan la obsolescencia de otras “especies digitales”. Mens [35, 220, 231] plantea una extensa comparativa entre las diferentes teorías de la evolución en biología y la evolución en los ecosistemas *software*, desde la mencionada teoría propuesta por Darwin hasta los caracteres adquiridos de Lamarck [232] o la reciente teoría del hologenoma [233, 234].

En los ecosistemas tecnológicos los rasgos heredables son las diferentes funcionalidades que posee un componente *software*, la supervivencia de un componente o especie digital se equipara a permanecer en el ecosistema a lo largo del tiempo a pesar de los cambios que sufre el entorno, mientras la reproducción se corresponde con el uso de un componente *software* en otros ecosistemas tecnológicos. De esta forma, aquellos componentes que tengan una funcionalidad que se adapta al entorno del ecosistema (infraestructura tecnológica, contexto cultural, contexto económico, etc.) permanecerán más tiempo que otros componentes cuya funcionalidad quede obsoleta. Así mismo, estos componentes serán más proclives a incorporarse a otros ecosistemas que necesiten resolver problemas similares.

Según la teoría de Darwin, las especies cambian con el tiempo, las especies nuevas provienen de especies preexistentes y todas las especies comparten un ancestro común. En el ámbito tecnológico, si se toma un componente *software* como especie digital dentro del ecosistema tecnológico, el ancestro común podría ser el propio lenguaje de programación a partir del cual se desarrollan componentes *software*, que a su vez dan

lugar a nuevas versiones del mismo componente, o incluso otros componentes nuevos, que mantienen las características más aceptadas por los usuarios y desechan aquellas que dejan de utilizarse o no se adaptan a los cambios en el entorno (hábitat digital).

Otro término utilizado por algunos autores para referirse a la evolución de los ecosistemas *software* es la coevolución [235]. En biología este término se utiliza para describir casos en los que dos o más especies influyen mutuamente en su evolución. Según Yu et al. [138] esto se da en los ecosistemas *software* donde la evolución de un sistema *software* podría resultar en la evolución de otro sistema *software*.

Tanto la evolución como la coevolución son una de las principales características de los ecosistemas tecnológicos, de tal forma que deben ser capaces de adaptarse a los cambios en el hábitat y en las especies digitales.

2.4 Conclusiones

El principal objetivo de los ecosistemas tecnológicos es dar soporte a las necesidades de gestión del conocimiento existentes en la actual Sociedad del Conocimiento. El conocimiento se ha convertido en un factor estratégico para cualquier tipo de entidad, de tal forma que una adecuada gestión del mismo permite lograr una ventaja competitiva. Esto no se aplica únicamente al ámbito empresarial, las universidades e instituciones educativas también necesitan gestionar su propio conocimiento y darle valor, no solo el que se genera en el contexto formal, sino todo el conocimiento que se genera de manera informal [183, 236].

Existen en la literatura un gran número de definiciones, principalmente de ecosistema *software*, siendo el primer término acuñado para referirse a un conjunto de componentes *software* que se relacionan entre sí de alguna manera para dar lugar a sistemas más complejos.

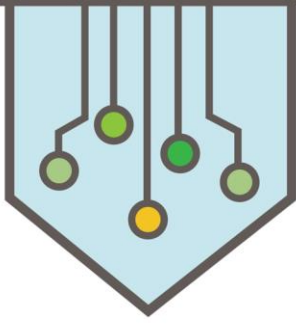
La presente tesis doctoral define el ecosistema tecnológico como un conjunto personas y componentes *software* (factores bióticos) que se relacionan entre sí mediante flujos de información en un medio físico que proporciona el soporte para dichos flujos (factores abióticos). Esta definición considera un tipo de ecosistemas que poseen matices diferentes a las definiciones de ecosistema *software*, donde existe una tendencia a hablar de un elemento o plataforma central sobre la cual se construyen el resto de los componentes del ecosistema. La definición que se plantea de ecosistema tecnológico considera los componentes *software* como elementos descentralizados y heterogéneos

que se relacionan entre sí para dar una funcionalidad adicional. Así mismo, se hace un mayor énfasis en la incorporación del factor humano como elemento del ecosistema, al mismo nivel que el *software*.

Además, la definición propuesta se sustenta sobre la metáfora de ecosistema natural, de tal forma que refleja los diferentes componentes que tiene un ecosistema en el contexto biológico y los extrapola a elementos tecnológicos. Este énfasis en la relación entre naturaleza y tecnología tiene como objetivo transferir las características evolutivas de los ecosistemas naturales a los ecosistemas tecnológicos con el fin de reflejar la necesidad de adaptación que supone dar soporte a los procesos de gestión del conocimiento.

La relación entre biología y tecnología está presente en la literatura sobre ecosistemas *software* encontrada en las principales bases de datos científicas. Conceptos como especies digitales o hábitat digital se utilizan para hablar de componentes *software* o infraestructura. Las personas como parte del ecosistema, concretamente como generadores de cambio, tanto bueno como malo, forma parte de los textos relacionados con el cambio en los ecosistemas naturales y permite sustentar la presencia del factor humano en la definición de ecosistema tecnológico propuesta.

Finalmente, la evolución, en especial el método de selección natural propuesto por Darwin [230], y el concepto de coevolución, propuesto por Daniel Janzen, están presentes en los ecosistemas *software*, y en particular en los ecosistemas tecnológicos, con el fin de adaptarse a los cambios que tienen lugar tanto por factores internos como externos al ecosistema.



Capítulo 3

SLR de las soluciones arquitectónicas de los ecosistemas tecnológicos

Las características naturales presentes en los ecosistemas tecnológicos suponen un paso adelante en el desarrollo de soluciones que permitan dar soporte a los procesos de gestión del conocimiento y el aprendizaje. Estos procesos evolucionan de forma constante y se ven afectados por factores de diversa índole, desde factores culturales hasta cambios en el contexto económico de la organización. El desarrollo de soluciones tecnológicas capaces de evolucionar a la misma o similar velocidad que lo hacen estos procesos supone una ventaja competitiva para la institución o empresa.

Por otro lado, la propuesta realizada para incorporar el factor humano como parte inherente del ecosistema tecnológico permite que las metodologías, los modelos de gestión del conocimiento, las estrategias de aprendizaje, etc. tengan una relación directa con el soporte tecnológico que permite llevarlas a cabo. Esta propuesta supone un paso adelante, pero a la vez supone un reto en los procesos de ingeniería del *software* para definir y desarrollar ecosistemas tecnológicos.

Con el fin de plantear ecosistemas tecnológicos capaces de evolucionar de acuerdo a las necesidades de gestión del conocimiento y del aprendizaje y que a la vez incluyan el factor humano como parte de su definición, es necesario identificar y analizar la

investigación previa desarrollada en el ámbito de la ingeniería del *software*, más concretamente aquellas propuestas relacionadas con las arquitecturas *software* o la ingeniería dirigida por modelos en ecosistemas tecnológicos. De esta manera se pretende esclarecer si existen soluciones en la literatura que permitan resolver los problemas identificados y a partir de esto definir los objetivos específicos de la presente investigación.

Para llevar a cabo la revisión de la literatura se ha utilizado un procesos sistemático, concretamente la metodología SLR adaptada por Kitchenham y Charters [67]. Además, la SLR se ha completado con un mapeo sistematizado de la literatura que sigue las pautas propuestas por [237, 238]. Esta tarea abarca la primera etapa del primer ciclo de Investigación-Acción (Figura 9).



Figura 9. Etapas de la Investigación-Acción que abarca la SLR. Fuente: Elaboración propia

El presente capítulo describe el proceso llevado a cabo y los resultados obtenidos para dar respuesta a las preguntas de investigación planteadas. En primer lugar, se presenta la fase de planificación de la investigación, donde se da respuesta a dos cuestiones básicas, la necesidad de llevar a cabo esta revisión y los medios disponibles para llevarla a cabo. En esta sección también se describe el protocolo para llevar a cabo la SLR. El

objetivo es proporcionar toda la información necesaria para que sea un proceso reproducible.

El segundo lugar, se describen los resultados obtenidos en el mapeo sistemático. Después, se describen los resultados de la revisión y se presenta la discusión de los mismos. Por último, se describen las amenazas a la validez de la presente revisión y mapeo sistemático.

3.1 Planificación de la investigación

De acuerdo con Kitchenham y Charters [67] la revisión sistemática de la literatura se divide en tres grandes fases: planificación de la revisión, conducir la revisión y realizar el informe. Lo mismo ocurre con el mapeo sistemático de la literatura según Petersen et al. [238]. En esta investigación el mapeo sistemático se realiza como complemento a la revisión sistemática de la literatura. El proceso de revisión y mapeo se ha dividido en un conjunto de fases o pasos que abarcan desde la revisión sistemática de otras SLR relacionados con ecosistemas tecnológicos para determinar la necesidad de llevar a cabo el presente estudio, hasta los resultados obtenidos tras llevar a cabo la revisión. En la Figura 10 se muestran las diferentes fases y el orden en el que se han llevado a cabo.

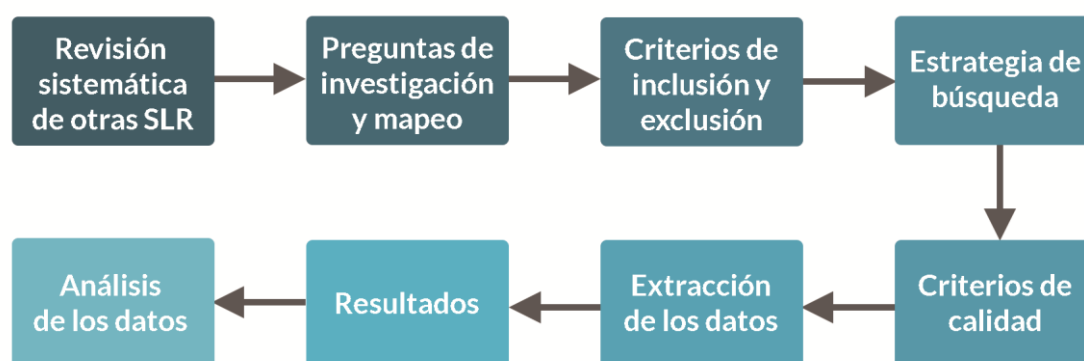


Figura 10. Fases del mapeo y la revisión sistemática de la literatura. Fuente: Elaboración propia

3.1.1 Identificación de la necesidad de una revisión

Antes de llevar a cabo una revisión sistemática o mapeo de la literatura es importante determinar si es realmente necesario realizarla. Se debe determinar si ya existe una revisión sistemática que responda a las preguntas de investigación planteadas y que permita sustentar la presente investigación. No tiene sentido hacer una revisión sistemática o un mapeo que ya se haya hecho antes, salvo que sea evidente que las anteriores revisiones sistemáticas están sesgadas o si están significativamente

anticuadas, por ejemplo, si se han publicado nuevos estudios desde que se completó la revisión existente [92].

Para responder a esta cuestión es necesario realizar una búsqueda de revisiones y mapeos sistemáticos existentes. Este proceso se ha llevado a cabo siguiendo el mismo protocolo que la SLR, es decir, se ha realizado una revisión sistemática centrada en publicaciones de revisiones sistemáticas en el ámbito de los ecosistemas tecnológicos.

La pregunta de investigación planteada es:

- IDA1: ¿Existen SLR o mapeos que respondan parcial o completamente al objetivo de investigación definido?

Para responder a dicha pregunta se ha definido un conjunto de criterios de inclusión y exclusión y se han seleccionado un conjunto de términos de búsqueda que se pueden dividir en dos grupos, aquellos relacionados con la metodología - SLR, *Systematic Literature Review*, *systematic mapping*, *literature review* - y los utilizados para hablar de ecosistemas tecnológicos - *technological ecosystem*, *software ecosystem*, SECO, *information ecosystem*, *ERP ecosystem*, *open ecosystem*, *learning ecosystem* -. La búsqueda se ha llevado a cabo en las siguientes bases de datos: Scopus, Web of Science (WoS), IEEE Xplorer y ACM Digital Library. El protocolo de revisión seguido se describe en detalle en el Apéndice A.

En total se han analizado 13 revisiones o mapeos relacionados con los ecosistemas *software* o SECO, 4 de ellos publicados en revistas de impacto y 9 en actas de congresos. En cuanto al dominio de aplicación, 9 de las publicaciones se centran en los SECO en general [28, 53, 206, 239-244], 1 trata los SECO *open source* o OSSECO [198], 1 trata los SECO propietarios [245], 1 los SECO móviles [196] y, por último, 1 se centra en SECO embebidos [246]. En relación a los autores (Tabla 1), cabe destacar que Manikas es el autor más prolífico en cuanto a elaboración de revisiones sistemáticas de la literatura [28, 242, 245], siendo el primer autor en realizar una SLR sobre ecosistemas *software*.

Tabla 1. Nombre de los autores de publicaciones de revisión sistemática de la literatura. Fuente: Elaboración propia

Nombre	Total
Manikas, K	3
Alves, C.; Andersson, J	2
Ameller, D; Axelsson, J; Barbosa, O.; Costal, D; Dias-Neto, AC; Duc, A.N.; Dybå, T.; Fiedler, M; Fontao, AD; Fotrousi, F; Franch, X; Franco-Bedoya, O;	1

Fricker, SA; Gao, S.; Hansen, KM; Hanssen, G.; Hyrynsalmi, S; Jansen, S.; Jarvi, A; Le-Gall, F; Nokkala, T; Oliveira, J.; Papatheocharous, E; Pettersson, O; Seppanen, M; Sindre, G.; Suominen, A; Vegendla, A.; dos Santos, RP

Cada una de las publicaciones seleccionadas se ha leído en detalle para determinar si responde al objetivo de la presente revisión sistemática de la literatura. Para ello, se ha respondido a doce preguntas del tipo “¿Responde a la pregunta de investigación IQ1?”, de tal forma que se ha asignado un valor de 1 si la respuesta es “Sí”, un valor de 0,5 si la respuesta es “Parcialmente” y un valor de 0 si la respuesta es “No”. A partir de las puntuaciones asignadas a cada respuesta se ha calculado el porcentaje de similitud. El criterio para determinar si una revisión responde al objetivo de la presente SLR ha sido el siguiente:

- Si la similitud está entre 70% y 100%, entonces la presente revisión sistemática no se debe llevar a cabo.
- Si la similitud está entre 40% y 70% se deben replantear aquellas preguntas de investigación que ya tienen respuesta o determinar si es necesario ampliar las respuestas existentes extendiendo la búsqueda hasta la fecha actual.
- Si la similitud es menor del 40% entonces se puede llevar a cabo la presente revisión sistemática.

El mayor porcentaje de similitud alcanzado ha sido 21%, correspondiente a [198, 246]. Les siguen [28] con un 17% y [242, 243] con un 13%. El resto de las publicaciones tienen un porcentaje de similitud de 0%. La Tabla 2 muestra las preguntas que están contempladas parcial o totalmente en los estudios identificados previamente. Se puede encontrar información más detallada en <http://bit.ly/2K3D0vP>. A continuación, se describe brevemente cada publicación analizada:

- Franco-Bedoya et al. [198] realiza un mapeo sistemático de la literatura sobre ecosistemas *software open source*. Define dos grandes preguntas sobre los OSSECO, qué son y cómo se modelan. Cuatro de las preguntas de investigación que plantea son similares a la presente revisión, pero es lógico ya que se trata de un conjunto de preguntas demográficas sobre los estudios encontrados que suelen estar presente en todos los mapeos de la literatura. La diferencia con la presente revisión es que estos autores realizan un mapeo más general y la presente SLR se centra en aspectos específicos de ingeniería del *software*. Por

último, las preguntas centradas en el modelado de los OSSECO tienen relación con las preguntas IQ2 y MQ8 descritas en la siguiente sección, pero proporcionan una imagen general que permite enfatizar la importancia de profundizar en el estudio de las técnicas de ingeniería dirigida por modelos, no solo para el desarrollo de ecosistemas basados en OSS, sino cualquier tipo de ecosistema tecnológico, con el fin de poder modelar ecosistemas de forma sistemática.

- Manikas [242] extiende el trabajo realizado en [28]. Se trata de una revisión sistemática sobre ecosistemas *software*. Considera que los ecosistemas digitales o ecosistemas de negocios no son ecosistemas *software*, y en caso de tener relación solo los abarca desde el punto de vista de los SECO, ya que su único término de búsqueda es “*software ecosystem*”. Analiza todos los tipos de soluciones que hay en la literatura para mejorar los ecosistemas *software*, pero no profundiza en ninguna de las categorías identificadas. En particular, plantea una pregunta sobre la arquitectura de los SECO, siendo equivalente a la pregunta IQ1. Manikas divide la arquitectura de los SECO en tres grupos - ingeniería del *software*, negocios y gestión, y relaciones - los cuales abarcan sus principales elementos: los componentes (tanto *software* como actores), las relaciones y los negocios. Analiza la arquitectura de los ecosistemas *software* desde diferentes puntos de vista, para abarcar diferentes tipos de soluciones tal y como se muestra en la clasificación que realiza siguiendo las categorías propuestas por Shaw [247]. A pesar de ello, existen diferencias con la revisión sistemática planteada en este trabajo, ya que esta se centra en propuestas de ingeniería del *software* que se enmarcan en las categorías “*Procedure and techniques*” y “*Qualitative or descriptive model*” de Shaw, suponiendo estas categorías únicamente un 13% y un 11%, respectivamente, de las publicaciones seleccionadas por Manikas. Además, el presente sistemático abarca los ecosistemas tecnológicos desde un punto de vista más amplio, teniendo en cuenta términos similares que se utilizan para hacer referencia a los ecosistemas basados en *software*, en tecnología. Manikas remarca la importancia de utilizar ecosistemas *software* reales para llevar a cabo estudios y plantear soluciones, por este motivo se ha planteado la pregunta MQ9.
- Manikas [245] realiza un análisis de ecosistemas *software* propietarios utilizando las publicaciones identificadas en la SLR previa [28, 242]. Selecciona

aquellos que son *software* propietario y que hablan de ecosistemas reales y analiza los aspectos de este tipo de SECO.

- Pettersson y Andersson [243] realizan un mapeo sistemático sobre cómo se describen y documentan los ecosistemas *software*. Destacan que los enfoques actuales de modelado no capturan por completo todos los aspectos de las arquitecturas SECO. El estudio abarca modelos, metamodelos y metodologías, todo tipo de soluciones, no únicamente las relacionadas con la definición de arquitectura *software* o ingeniería dirigida por modelos. Concretamente, clasifica las publicaciones de acuerdo a cuatro subcategorías: general, parcial, dominio específico y estilo y patrones. Esta última, abarcaría las preguntas de investigación planteadas en la presente revisión pero tan solo dos publicaciones [248, 249] fueron clasificadas en dicha categoría.
- Fontão [196] proporcionan una visión general de los ecosistemas *software* móviles (MSECO). Identifican sus principales características y determinan las áreas comunes que se investigan en la literatura: desarrollo de aplicación, economía/mantenimiento, la dinámica de los MSECO, la arquitectura de los MSECO, la gestión, la garantía de calidad, plataforma, *app store*, líneas de producto *software* y proceso de modelado. Ponen en relieve que existe una clara demanda de aproximaciones, metodologías, procesos y herramientas para dar soporte a los MSECO. Destacan que las tres plataformas móviles más mencionadas en la literatura son Android, iOS y Windows.
- Papatheocharous [246] realizan un mapeo de la literatura centrado en diferentes aspectos de los ecosistemas, las líneas de producto y las innovaciones estratégicas en el desarrollo de productos de sistemas y *software* embebido. Al igual que ocurre en otros estudios analizados, algunas de las preguntas demográficas son similares a las identificadas en el presente trabajo. Cabe destacar la pregunta centrada en el dominio de aplicación, donde los autores identifican cinco dominios - producto, *software*, innovación, negocio y otros -, cuyo enfoque difiere del planteado en la pregunta MQ6 donde dominio se refiere al contexto de aplicación (medicina, medio ambiente, industria, etc.).
- Hyrynsalmi [241] revisión sistemática enfocada en el concepto “salud del ecosistema”, el cual hace referencia a un conjunto de indicadores clave del bienestar, la longevidad y el rendimiento del ecosistema *software*. Analizan la definición del concepto “salud” en la literatura relacionada con los ecosistemas

software y concluyen que existe falta de consenso a la hora de hablar del término. Ponen de manifiesto la necesidad de profundizar en esa línea de investigación.

- Fotrousi [240] se centran en analizar los *Key Performance Indicators* (KPI), los indicadores clave de rendimiento, aquellos indicadores que son fácilmente mensurables cuantitativamente o mediante una aproximación de fenómenos cualitativos [250]. Identifican los objetivos de los ecosistemas *software* en los que se aplican KPI.
- Manikas y Hansen [28] ver [242] que expande este trabajo.
- Vegendla et al. [244] realiza un mapeo sistemático sobre ingeniería de requisitos en los SECO. Plantea únicamente dos preguntas de investigación, qué actividades de ingeniería de requisitos se han estudiado y cómo se consideran los requisitos no funcionales en el ámbito de los SECO.
- Alves et al. [206] se centran en un aspecto particular de los SECO, los mecanismos de gobierno de este tipo de soluciones tecnológicas.
- Barbosa y Alves [53] es el primer mapeo sistemático de la literatura realizado sobre SECO. Identifican diez características y un conjunto de limitaciones y desafíos de los SECO. Además, plantean ocho áreas de investigación relacionadas con los SECO entre las que destacan el *software open source*, el modelado de ecosistemas y las cuestiones comerciales.
- Hanssen y Dybå [239] describen los fundamentos teóricos de los SECO. No se trata de una revisión sistemática como tal, ya que ni siquiera incluye las referencias asociadas a la revisión.

Tabla 2. Similitud entre las preguntas de investigación de la presente SLR y las de los estudios identificados.
Fuente: Elaboración propia

	IQ1	IQ2	IQ3	MQ1	MQ2	MQ3	MQ4	MQ5	MQ6	MQ7	MQ8	MQ9	%
Franco-Bedoya et al. [198]	-	P	-	P	P	P	P	-	-	-	-	-	21%
Manikas [242]	P	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	P	13%
Pettersson y Andersson [243]	-	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	13%
Papatheocharous et al. [246]	-	-	-	P	-	P	P	-	P	-	-	P	21%
Manikas y Hansen [28]	P	P	-	P	-	-	-	-	-	-	-	P	17%

(P: parcial, S: sí, -: no)

El análisis en detalle de las revisiones y mapeos encontrados en la literatura permite afirmar que es necesario llevar a cabo la presente revisión sistemática centrada en analizar las propuestas arquitectónicas y de ingeniería dirigida por modelos para definir y desarrollar ecosistemas tecnológicos. Además del porcentaje de similitud obtenido, todos ellos menor del 40%, hay dos cuestiones principales que sustenta esta decisión. En primer lugar, todos los estudios se enfocan en el concepto de ecosistema *software* y dejan de lado conceptos o planteamientos como los ecosistemas digitales o los ecosistemas tecnológicos, que el presente trabajo de investigación sí tiene en consideración como base para definir ecosistemas que permitan gestionar el conocimiento y los procesos de aprendizaje en una institución o empresa. Por otro lado, aunque hay varios trabajos que identifican soluciones de modelado, la gran mayoría no se refiere a la ingeniería dirigida por modelos sino al propio proceso de ingeniería para definir cualquier tipo de *software* (elicitación de requisitos, criterios de calidad, *Unified Modeling Language* o UML [251], modelado conceptual, documentación, etc.) pero no desde el punto de vista del metamodelado.

3.1.2 Preguntas de investigación

Una vez se decide continuar con la revisión sistemática, se han definido las preguntas de investigación y de mapeo. En primer lugar, se han definido tres preguntas de investigación (IQ del inglés *Investigation Question*):

- IQ1. ¿qué tipo de propuestas de arquitecturas *software* existen para mejorar el desarrollo de los ecosistemas tecnológicos?
- IQ2. ¿qué tipo de propuestas de ingeniería dirigida por modelos existen para mejorar el desarrollo de los ecosistemas tecnológicos?
- IQ3. ¿cómo las soluciones propuestas tratan el desarrollo de los ecosistemas tecnológicos?

Respecto a las preguntas de mapeo, se han definido nueve preguntas (MQ del inglés *Mapping Question*):

- MQ1. ¿Cuántos estudios se han publicado a lo largo de los años?
- MQ2. ¿Cuáles son los autores más prolíficos en el área?
- MQ3. ¿Qué tipo de publicaciones son las más habituales en la producción científica en el área?

- MQ4. ¿En qué bases de datos es habitual encontrar la producción científica en el área?
- MQ5. ¿Cuáles son los términos utilizados para hablar de ecosistemas en el ámbito de la ingeniería del *software* y en qué proporción se utilizan?
- MQ6. ¿En qué dominios se aplican las soluciones encontradas?
- MQ7. ¿Cuántos estudios proponen arquitecturas *software* para desarrollar ecosistemas tecnológicos?
- MQ8. ¿Cuántos estudios proponen ingeniería dirigida por modelos para desarrollar ecosistemas tecnológicos?
- MQ9. ¿Cuántas soluciones se han aplicado en ecosistemas tecnológicos reales?

A partir de las preguntas de investigación se ha utilizado el método PICOC propuesto por Petticrew y Roberts [\[92\]](#) para definir el ámbito de la revisión:

- Población (P): arquitecturas *software* e ingeniería dirigida por modelos.
- Intervención (I): propuestas para definir y desarrollar ecosistemas tecnológicos.
- Comparación (C): sin comparación.
- Resultados (O por *Outputs*): propuestas de arquitectura *software* o modelos y metamodelos.
- Contexto (C): contextos relacionados con el uso de los ecosistemas tecnológicos para gestionar el conocimiento.

3.1.3 Criterios de inclusión y exclusión

Una vez definidas las preguntas y el ámbito de la revisión se han definido un conjunto de criterios de inclusión y exclusión para seleccionar aquellos trabajos que son relevantes para obtener respuestas a las preguntas de investigación definidas. Concretamente se han definido seis criterios de inclusión (IC) y los correspondientes cinco criterios de exclusión (EC):

- IC1: La publicación presenta una propuesta de arquitectura *software* o ingeniería guiada por modelos AND
- IC2: La solución presentada se aplica a la definición y desarrollo de ecosistemas tecnológicos AND
- IC3: La publicación está en inglés AND
- IC4: La publicación está publicada en revistas, libros, conferencias o *workshops* con revisión por pares AND

- IC5: La versión completa de la publicación está disponible a través de la suscripción de nuestra institución o por parte de las asociaciones de las que somos miembros AND
- IC6: La publicación es la más reciente y completa de las publicaciones relacionadas sobre el mismo estudio.

Criterios de exclusión:

- EC1: La publicación no presenta una propuesta de arquitectura *software* o ingeniería guiada por modelos OR
- EC2: La solución presentada no se aplica a la definición y desarrollo de ecosistemas tecnológicos OR
- EC3: La publicación no está en inglés OR
- EC4: La publicación no está publicada en revistas, libros, conferencias o *workshops* con revisión por pares OR
- EC5: La versión completa de la publicación no está disponible a través de la suscripción de nuestra institución o por parte de las asociaciones de las que somos miembros OR
- EC6: La publicación no es la más reciente y completa de las publicaciones relacionadas sobre el mismo estudio.

3.1.4 Estrategia de búsqueda

En primer lugar, las fuentes seleccionadas para realizar la búsqueda son Web of Science (WoS) y Scopus. La elección de estas bases de datos científicas se sustenta en los mismos criterios utilizados para realizar la búsqueda de revisiones sistemáticas (Apéndice A), con la particularidad de que se han excluido dos de las bases de datos, ACM Digital Library y IEEE Xplorer debido, principalmente, a que la mayor parte de los trabajos relevantes indexados en dichas bases de datos se encuentran también presentes en WoS y Scopus. Los criterios seguidos han sido los siguientes:

- Se trata de una base de datos de referencia en el ámbito de la investigación.
- Se trata de una base de datos relevante en el área de investigación en la que se enmarca la revisión sistemática.
- Permite utilizar una cadena de búsqueda igual o muy similar al resto de bases de datos seleccionadas.

- Se trata de una base de datos accesible a través de la institución en la que se desarrolla la revisión o a través de las asociaciones de las que los autores son miembros.

En relación a los términos de búsqueda, se han utilizado los términos identificados en población, intervención, comparación y resultados [67]. A partir de estos términos se han identificado sinónimos o conceptos similares utilizados en la literatura. Los términos se han indicado únicamente en inglés siguiendo el criterio IC3.

Los términos de búsqueda seleccionados se pueden dividir en dos grandes grupos. Por un lado, los términos utilizados para hablar del concepto de ecosistema tecnológico: *technological ecosystem*, *software ecosystem*, *SECO*, *information ecosystem*, *ERP ecosystem*, *open ecosystem*, *learning ecosystem*, *software-intensive ecosystems*, *platform ecosystem*, *digital ecosystem*, *service ecosystem*.

Por otro lado, los términos utilizados para hablar de los resultados: *ecosystem architecture*, *platform architecture*, *software architecture*, *service oriented architecture*, *ecosystem modelling*, *ecosystem metamodel*, *ecosystem model*, *ecosystem metamodeling*, *metamodel*.

3.1.5 Cadenas de búsqueda

Las cadenas de búsqueda para cada una de las fuentes seleccionadas se han elaborado a partir de los términos de búsqueda combinados con operadores booleanos AND y OR. Además, se ha utilizado el comodín (*) para buscar el plural de los términos de búsqueda en vez de escribir el singular y el plural de cada término; y el comodín (\$) en WoS para tener en cuenta la ortografía británica y americana.

No se ha aplicado ninguna restricción de tiempo a las búsquedas, es decir, no se han limitado los resultados por el año de publicación de los trabajos. En relación a las áreas temáticas o categorías, se han aplicado restricciones únicamente en Scopus para evitar publicaciones relacionadas con ecosistemas biológicos. En particular, se ha excluido el área temática “Agricultural and Biological Sciences”. En cuanto al tipo de documentos, se han descartado en Scopus los trabajos de tipo *Conference Review* al no plantear un estudio completo sino un resumen sobre la conferencia.

Los términos seleccionados se han buscado en el título, las palabras clave y el resumen. La consulta base ha sido la siguiente:

("ecosystem architecture" OR "software architecture*" OR "platform architecture*" OR "service oriented architecture*" OR "ecosystem modelling" OR "ecosystem meta*modelling" OR "ecosystem metamodel*" OR "ecosystem model*" OR meta*model) AND ("technological ecosystem*" OR "software ecosystem*" OR SECO OR "information ecosystem*" OR "ERP ecosystem*" OR "open ecosystem*" OR "learning ecosystem*" OR "software-intensive ecosystem*" OR "platform ecosystem*" OR "digital ecosystem*" OR "service ecosystem*")*

La consulta se ha adaptado para utilizar los códigos de búsqueda proporcionados por WoS:

(TS=((("ecosystem architecture" OR "software architecture*" OR "platform architecture*" OR "service oriented architecture*" OR "ecosystem mode\$ing" OR "ecosystem meta*mode\$ing" OR "ecosystem metamodel*" OR "ecosystem model*" OR meta*model) AND ("technological ecosystem*" OR "software ecosystem*" OR SECO OR "information ecosystem*" OR "ERP ecosystem*" OR "open ecosystem*" OR "learning ecosystem*" OR "software-intensive ecosystem*" OR "platform ecosystem*" OR "digital ecosystem*" OR "service ecosystem*")))) AND Idioma: (English)*

Lo mismo ocurre en Scopus, la consulta se ha tenido que adaptar para usar las características de la búsqueda avanzada:

TITLE-ABS-KEY ("ecosystem architecture" OR "software architecture*" OR "platform architecture*" OR "service oriented architecture*" OR "ecosystem modeling" OR "ecosystem modelling" OR "ecosystem meta*modeling" OR "ecosystem meta*modelling" OR "ecosystem metamodel*" OR "ecosystem model*" OR meta*model) AND TITLE-ABS-KEY ("technological ecosystem*" OR "software ecosystem*" OR SECO OR "information ecosystem*" OR "ERP ecosystem*" OR "open ecosystem*" OR "learning ecosystem*" OR "software-intensive ecosystem*" OR "platform ecosystem*" OR "digital ecosystem*" OR "service ecosystem*") AND (EXCLUDE (DOCTYPE , "cr ")) AND (EXCLUDE (SUBJAREA , "AGRI ")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English"))*

3.1.6 Criterios para la evaluación de la calidad

Los criterios de inclusión y exclusión permiten asegurar un conjunto de trabajos relacionados con el ámbito de la revisión sistemática pero no permiten asegurar la calidad de los mismos a la hora de dar respuesta a las preguntas de investigación

planteadas. Para asegurar dicha calidad se han definido un conjunto de criterios cuya aplicación se describe en la siguiente sección:

1. ¿Los objetivos de la investigación relacionados con la arquitectura *software* y la ingeniería guiada por modelos están descritos claramente?
2. ¿El estudio está diseñado para alcanzar dichos objetivos?
3. ¿La propuesta arquitectónica está descrita claramente y su diseño está justificado?
4. ¿La propuesta arquitectónica se materializa en modelos, patrones, etc.? (El grado de definición de la propuesta arquitectónica para evitar ideas genéricas).
5. ¿La solución propuesta se aplica a la definición del ecosistema tecnológico completo?
6. ¿la solución propuesta proporciona un marco para definir diferentes ecosistemas tecnológicos?
7. ¿La solución propuesta se basa en varias experiencias previas?
8. ¿La solución propuesta se ha probado en ecosistemas tecnológicos reales?
9. ¿Se describe algún problema asociado a la solución propuesta?
10. ¿Responde todas las preguntas de investigación adecuadamente?

3.1.7 Extracción de datos

El proceso de extracción de datos es un proceso iterativo e incremental que se ha dividido en varias etapas en las cuales se llevan a cabo diferentes actividades. Para describir el proceso se ha utilizado un flujo PRISMA [252] (Figura 11).

En primer lugar, se ha llevado a cabo la identificación de los resultados. Por un lado, se han aplicado las cadenas de búsqueda en las diferentes bases de datos. Por otro lado, se han incluido un conjunto de referencias de las SLR y los mapeos analizados previamente, concretamente referencias identificadas por los autores como soluciones de modelado o arquitectónicas [28, 198, 242, 243], siempre y cuando no hubieran aparecido ya en los resultados de búsqueda en las distintas bases de datos.

Los resultados de las bases de datos se han descargado en formato CSV (*comma-separated values*) y se han almacenado en un repositorio en GitHub [253]. Después, todos los resultados se han organizado en una hoja de cálculo en Google Sheets

(<http://bit.ly/2Mj9ihC>). La hoja de cálculo está configurada para detectar automáticamente títulos duplicados con objeto de facilitar su búsqueda y eliminación. Además, para cada publicación se ha marcado en qué bases de datos se ha encontrado, por lo que los trabajos duplicados tendrán marcadas varias bases de datos.

La segunda etapa del proceso de extracción de datos se ha centrado en aplicar diferentes filtros a los resultados, incluida la eliminación de duplicados ya mencionada. Luego se han analizado el título, el resumen y las palabras clave de cada una de las publicaciones, para a continuación aplicar los criterios de inclusión y exclusión. Las publicaciones se han organizado en otra hoja y se ha indicado para cada publicación si cumple los criterios de inclusión o si, por el contrario, cumple algún criterio de exclusión (<http://bit.ly/2lsJPfZ>).

La tercera etapa se ha centrado en la elegibilidad de las publicaciones. Se ha realizado una lectura completa de cada uno de los trabajos y se ha respondido a las preguntas de calidad. En total hay 10 preguntas, cada una de las cuales se ha respondido con una de las siguientes opciones: sí (1), no (0), parcial (0,5). Cada respuesta se corresponde con una puntuación, de tal forma que la suma de las respuestas permite puntuar cada trabajo con un valor entre 0 y 10. Aquellos trabajos cuya puntuación es igual o mayor que 7 han sido seleccionados para pasar a la siguiente etapa. Toda la información se ha organizado en una tercera hoja de cálculo (<http://bit.ly/2MgvQVA>).

Finalmente, cada trabajo seleccionado se ha analizado en detalle para obtener las respuestas a las preguntas de investigación y de mapeo. En particular, se ha creado una cuarta hoja de cálculo en la que se han recogido un conjunto de variables para poder dar respuesta a las preguntas de mapeo (<http://bit.ly/2MP8LL5>). En la Tabla 3 se muestra la correspondencia entre las variables recopiladas y las preguntas de mapeo.

Tabla 3. Relación entre las variables recopiladas y las preguntas de mapeo. Fuente: Elaboración propia

Variable	Valor	Pregunta
<i>Authors</i>	Conjunto de nombres de los autores	MQ2
<i>Year</i>	Año	MQ1
<i>Present in Scopus</i>	Campo lógico para indicar que se encontró en Scopus	MQ4
<i>Present in WoS</i>	Campo lógico para indicar que se encontró en WoS	MQ4

<i>Ecosystem synonyms</i>	Palabras utilizadas en el trabajo para referirse a los ecosistemas tecnológicos	MQ5
<i>Domain</i>	Dominio o dominios en los que se aplica la solución	MQ6
<i>Software architecture</i>	Campo lógico para indicar si la solución es una arquitectura <i>software</i>	MQ7
<i>Model Driven Engineering</i>	Campo lógico para indicar si la solución está relacionada con MDE	MQ8
<i>Real ecosystem</i>	Datos sobre el ecosistema real o el prototipo	MQ9

Durante el análisis en profundidad de los trabajos se han verificado los valores asignados durante la evaluación de calidad y se han corregido aquellos que no estaban bien valorados. Los detalles de los trabajos finales seleccionados están disponibles en <http://bit.ly/2MOk5ag>.

Tras seguir el protocolo de búsqueda y extracción de datos, los resultados obtenidos son los siguientes (Figura 11):

1. Tras aplicar las cadenas de búsqueda en cada una de las bases de datos se han obtenido 335 registros, de las cuales 229 proceden de Scopus y 106 de WoS.
2. Se han añadido un total de 14 referencias nuevas identificadas en las revisiones y mapeos sistemáticos analizados previamente, lo que hace un total de 349 registros iniciales.
3. Después se han eliminado los duplicados, lo que ha reducido el número de registros a 251.
4. Una vez aplicados los criterios de inclusión y exclusión al título, resumen y palabras clave se tienen 69 registros (27,49% de todos los registros iniciales).
5. Tras aplicar los criterios de calidad, 22 trabajos obtienen una puntuación igual o superior a 7 (8.76% de los registros iniciales y 31.88% de los registros leídos).
6. Finalmente, tras analizar detalladamente cada publicación seleccionada se han descartado 3, quedando un total de 19 registros (7.57% de los registros iniciales, 27.54% de los registros leídos).

Respecto a las publicaciones descartadas en la última fase, se debe a que tras su análisis más en profundidad han cambiado algunas de las respuestas a las preguntas de calidad. En primer lugar, la solución arquitectónica propuesta en [254] es un conjunto de herramientas que permiten mejorar el proceso de toma de decisiones en un ecosistema

software, pero no se trata de una solución específica. Así mismo, la herramienta no se plantea como un ecosistema como sí ocurre en [255]. Por este motivo, la respuesta al criterio de calidad 10 - ¿Responde todas las preguntas de investigación adecuadamente? - cambia a “No” y la puntuación del trabajo se reduce a 6 puntos.

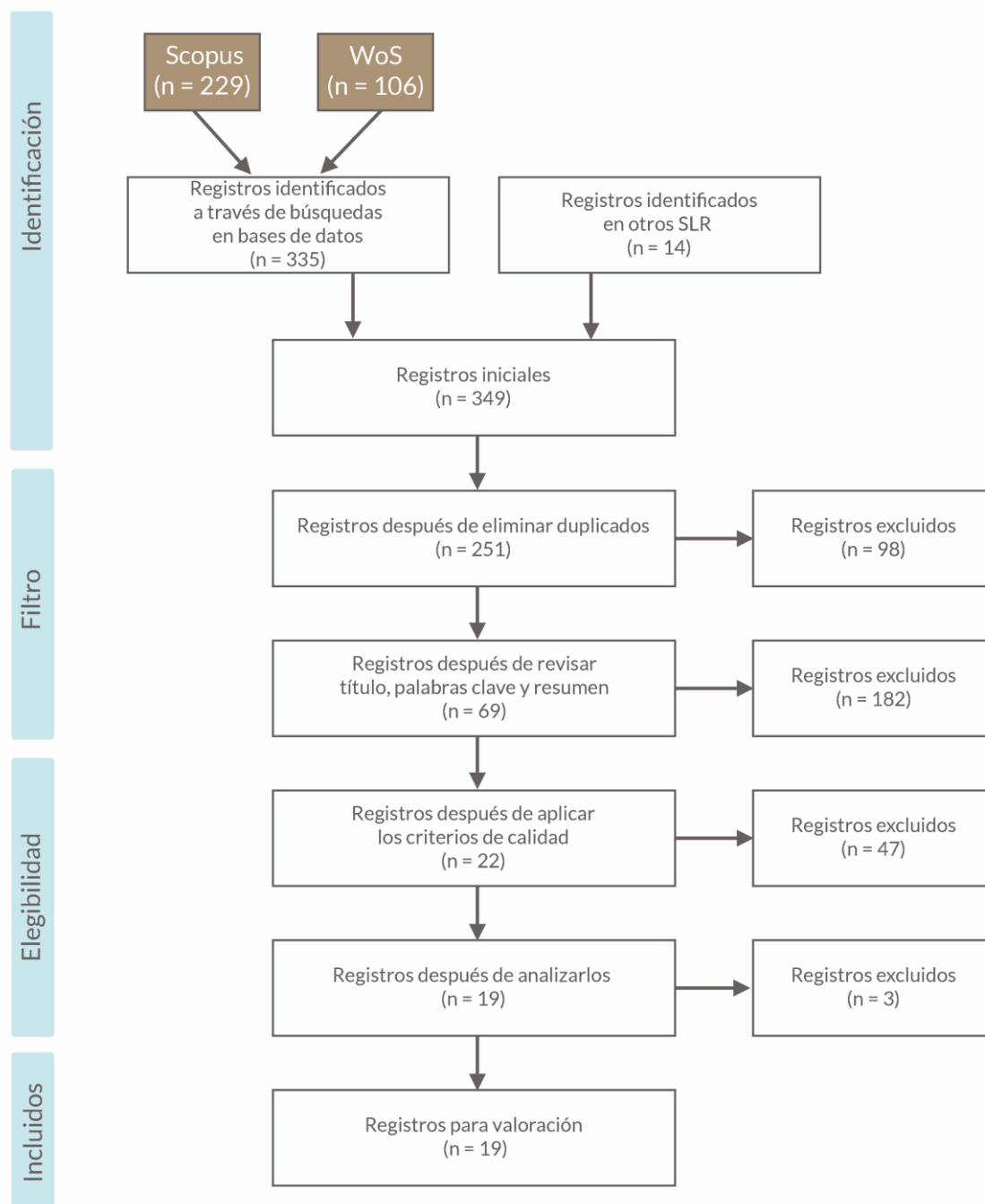


Figura 11. Flujo PRISMA. Fuente: Adaptado de [252]

En segundo lugar, Pettersson et al. [256] plantean un ciclo de vida y un modelo de dominio en UML para definir y analizar los ecosistemas de aprendizaje móvil pero no

desde un punto de vista arquitectónico. Del mismo modo que el anterior caso, la respuesta al criterio 10 cambia a “no” y la puntuación se reduce a 6,5.

Por último, en la fase previa se indicó que [257] no respondía a las preguntas de investigación y tras la lectura en detalle se ratifica que no las responde y además la respuesta al criterio 4 - ¿La propuesta arquitectónica se materializa en modelos, patrones, etc.? – se ha modificado por “No”, de tal forma que la puntuación se reduce a 6.

3.2 Resultados del mapeo sistemático

Esta sección presenta los datos obtenidos tras el proceso de extracción y análisis de las publicaciones seleccionadas. Como soporte técnico para llevar a cabo este proceso se ha creado un *Jupyter notebook* (<http://jupyter.org>) escrito en Python que se conecta a la hoja de cálculo creada en Google Sheets (<http://bit.ly/2MOk5ag>) y procesa los datos [253]. El *notebook* se basa en el trabajo realizado por Cruz-Benito <http://bit.ly/2tS9JgF>.

3.2.1 MQ1. ¿Cuántos estudios se han publicado a lo largo de los años?

Para dar respuesta a la primera pregunta del mapeo sistemático se ha contabilizado el número de publicaciones seleccionadas por año. Los resultados abarcan desde 2009 hasta 2017. La última actualización de la revisión se ha realizado en marzo de 2018, pero ningún trabajo de ese año ha formado parte de los trabajos seleccionados. La Figura 12 muestra de forma gráfica la distribución de publicaciones por año.

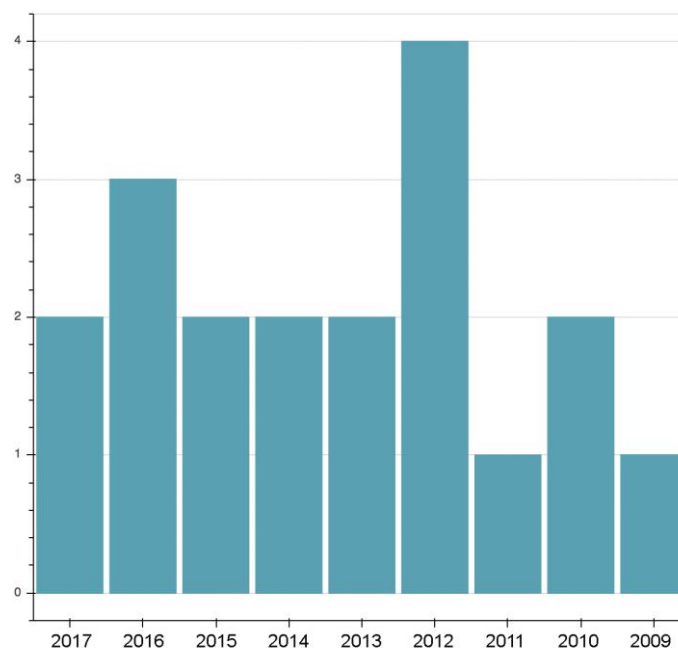


Figura 12. MQ1 – Gráfico con el número de publicaciones por año. Fuente: Elaboración propia

3.2.2 MQ2. ¿Cuáles son los autores más prolíficos en el área?

La segunda pregunta de mapeo se centra en los autores de los trabajos seleccionados. Para responder a esta pregunta se ha contabilizado el número de trabajos publicados por autor. La actualización de la revisión sistemática ha permitido que varias publicaciones relacionadas con la presente tesis doctoral hayan formado parte del proceso de búsqueda. Estas publicaciones han pasado los mismos filtros que el resto de los trabajos seleccionados, algunas de ellas han sido descartadas al no superar los criterios de calidad, pero dos han pasado a formar parte de los registros finales. Por este motivo, los autores con más de una publicación son García-Holgado y García-Peñalvo. El resto de los autores aparecen una sola vez en el contexto de esta revisión de la literatura. La lista completa de autores y el número de publicaciones se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. MQ2 – Nombre de los autores y total de publicaciones. Fuente: Elaboración propia

Nombre	Total
García-Holgado, A., García-Peñalvo, F. J.	2
Abbasi, M.; Abdullah, A.B.; Allgaier, Matthias; Axelsson, Jakob; Aßmann U.; Badie, K.; Bhakti, M.A.C.; Bigrigg, Michael W.; Bosch, Jan; Boucharas, Vasilis; Brinkkemper, Sjaak; Camarinha-Matos, L.M.; Carley, Kathleen M.; Carlson, Jan; Christensen, Henrik Baerbak; Cicchetti, Antonio; Dwivedi, Vishal; Eklund, Ulrik; Fan, Z.; Faria, Joao Pascoal; Fernandez, Eduardo B.; Ferrada, F.; Franke, Ulrik; Garlan, David; Hammouda, I.; Hansen, Klaus Marius; Heller, Markus; Hämäläinen, M.; Jansen, Slinger; Ji, Y.; Jung, L.T.; Karhu, K.; King, Horace; Kutvonen, Lea; Kyng, Morten; Lima, Bruno; Lokhman, A.; Mahbubul Syeed, M.M.; Manikas, Konstantinos; Mikkonen, T.; Oliveira, A.I.; Ostadzadeh, S.S.; Ozansoy, Cagil; Pillai, Kamatchi; Rafique, I.; Rosas, J.; Ruokolainen, Toni; Schmerl, Bradley; Seidl C.; Sentilles, Severine; Shams, F.; Shen, J.; Syed, Madiha H.; Tang, T.; Washizaki, Hironori; Wu, Z.; Yoshioka, Nobukazu; Zhang, L.;	1

3.2.3 MQ3. ¿Qué tipo de publicaciones son las más habituales en la producción científica en el área?

De acuerdo a los criterios de inclusión y exclusión, solamente forman parte de la revisión sistemática publicaciones que han participado en un proceso de revisión por pares para llegar a ser publicadas, ya sea en revistas, congresos, libros, etc. El único tipo de publicación que no abarca la revisión sistemática son las descripciones o resúmenes de conferencias.

El tipo de publicación es un dato que proporcionan las bases de datos utilizadas, pero se ha unificado la nomenclatura para poder ofrecer una respuesta clara a la presente

pregunta de mapeo. En particular, el tipo de publicación *Proceedings Paper* utilizada en WoS se ha sustituido por el término utilizado en Scopus, *Conference Paper*. La Figura 13 muestra un gráfico con la cantidad de publicaciones de cada tipo. En concreto se han seleccionado 7 artículos en revistas y 12 publicaciones en actas de congresos.

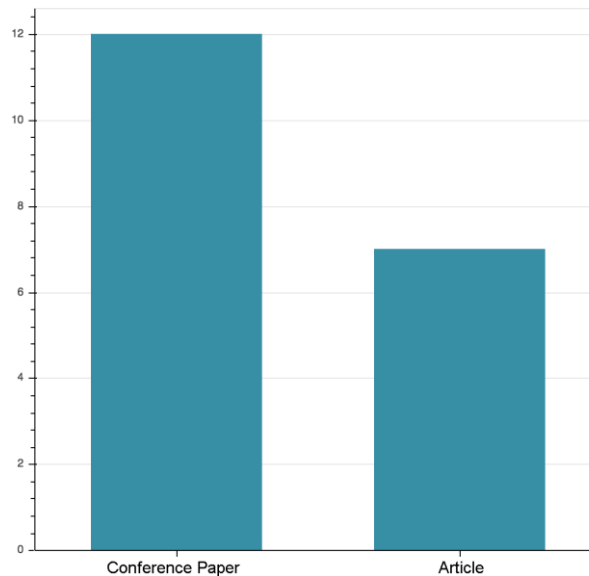


Figura 13. MQ3 - Gráfico con los tipos de publicaciones. Fuente: Elaboración propia

3.2.4 MQ4. ¿En qué bases de datos es habitual encontrar la producción científica en el área?

La cuarta pregunta del mapeo sistemático permite determinar cual de las dos bases de datos utilizadas tiene mayor número de trabajos entre los seleccionados.

Tabla 5 muestra en qué base de datos se encuentra cada uno de los trabajos finales. La base de datos en la que mayor número de trabajos se han seleccionado es Scopus (19 trabajos). Además, todas las publicaciones seleccionadas que aparecen en WoS también están en Scopus.

Tabla 5. MQ4 – Publicaciones agrupadas por base de datos. Fuente: Elaboración propia

	Publicaciones
WoS	[255], [79], [258], [259], [55], [260], [199], [54], [261], [262], [263]
Scopus	[255], [79], [258], [259], [55], [260], [199], [54], [261], [262], [263], [81], [249], [200], [264], [265], [203], [266], [267]

3.2.5 MQ5. ¿Cuáles son los términos utilizados para hablar de ecosistemas en el ámbito de la ingeniería del *software* y en qué proporción se utilizan?

El objetivo de esta pregunta es identificar aquellos términos que los autores de los trabajos seleccionados utilizan para referirse a los ecosistemas tecnológicos. Para cada uno de los trabajos se han extraído los términos utilizados y luego se ha calculado el número de publicaciones en las que aparece cada término. Los términos están en inglés debido a que toda la SLR se ha realizado en este idioma. La Figura 14 muestra el gráfico con la frecuencia de uso de cada uno de los términos encontrados.

El término más utilizado es *software ecosystem*, que aparece en 11 de las 19 publicaciones finales. Le siguen *digital ecosystem* y *service ecosystem*, que aparece en 4 y 3 publicaciones respectivamente. El término *technological ecosystem* aparece en dos publicaciones, concretamente en las que se corresponden con la presente tesis doctoral, tal y como se puede apreciar en la Tabla 6.

No se puede calificar los términos utilizados como sinónimos porque cada término aporta una serie de matices diferentes al resto, aunque todos hace referencia a la metáfora de ecosistema en el contexto tecnológico.

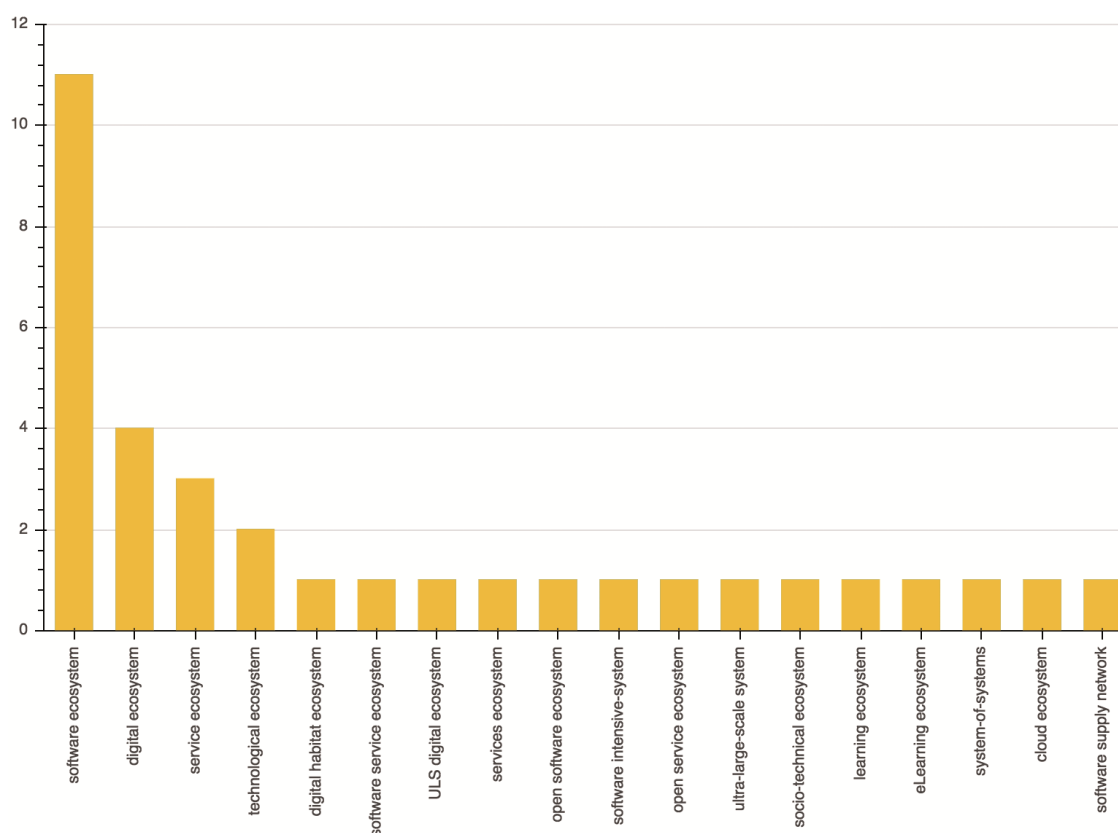


Figura 14. MQ5 – Gráfico con la frecuencia de uso de cada uno de los términos utilizados para hablar de ecosistema en el ámbito tecnológico. Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. MQ5 – Términos utilizados para hablar de ecosistema en el ámbito tecnológico en cada uno de los trabajos finales de la SLR. Fuente: Elaboración propia

Término	Publicaciones
<i>software ecosystem</i>	[255], [258], [55], [260], [54], [261], [263], [81], [249], [265], [203]
<i>digital ecosystem</i>	[259], [199], [200], [266]
<i>service ecosystem</i>	[54], [262], [267]
<i>technological ecosystem</i>	[79], [81]
<i>digital habitat ecosystem</i>	[199]
<i>software service ecosystem</i>	[203]
<i>ULS digital ecosystem</i>	[200]
<i>services ecosystem</i>	[264]
<i>open software ecosystem</i>	[260]
<i>software intensive-system</i>	[255]
<i>open service ecosystem</i>	[54]
<i>ultra-large-scale ecosystem</i>	[200]
<i>socio-technical ecosystem</i>	[200]
<i>learning ecosystem</i>	[81]
<i>eLearning ecosystem</i>	[79]
<i>system-of-systems</i>	[255]
<i>cloud ecosystem</i>	[258]
<i>software supply network (SSN)</i>	[263]

3.2.6 MQ6. ¿En qué dominios se aplican las soluciones encontradas?

Es importante conocer si las soluciones planteadas están definidas para un dominio específico o si, por el contrario, están pensadas para ser aplicadas a los ecosistemas *software* en general. La sexta pregunta de mapeo se centra en identificar los dominios en los que se aplican las soluciones descritas en los trabajos seleccionados. Para ello se ha identificado el dominio o dominios en los que se aplica cada solución y se ha elaborado una gráfica que permite observar los dominios más habituales (Figura 15).

Se ha utilizado el término *Generic* para clasificar aquellas soluciones que pueden aplicarse a cualquier dominio, debido a que su planteamiento está centrado en la mejora de los ecosistemas *software* de forma general, sin dependencias con un dominio concreto. Por otro lado, existen relaciones entre algunos de los dominios identificados, es el caso de *Ambient-Assisted Living* con *Telemedicine* y *Smart home*. Los dos dominios

más comunes en las soluciones encontradas son *Generic* y *Knowledge management*. Se debe tener en cuenta que hay soluciones que se enmarcan en varios dominios, esto ocurre principalmente con la gestión del conocimiento. En la Tabla 7 se puede ver la relación entre dominios y publicaciones.

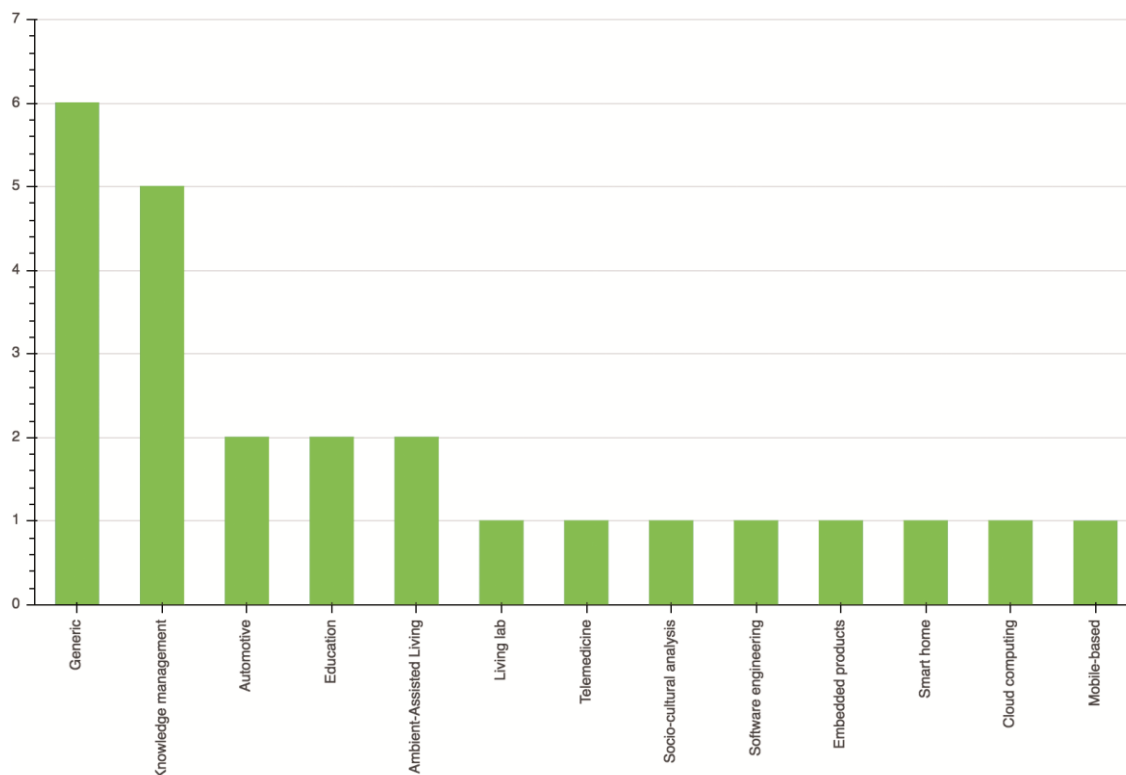


Figura 15. MQ6 – Gráfico con los diferentes tipos de dominios en los que se aplican las soluciones propuestas en las publicaciones seleccionadas. Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. MQ6 – Dominio de aplicación de las soluciones propuestas en las publicaciones seleccionadas. Fuente: Elaboración propia

Dominio	Publicaciones
<i>Generic</i>	[54], [263], [249], [200], [265], [203]
<i>Knowledge management</i>	[255], [79], [261], [81], [266]
<i>Automotive</i>	[260], [262]
<i>Education</i>	[79], [81]
<i>Ambient-Assisted Living</i>	[259], [264]
<i>Living lab</i>	[266]
<i>Telemedicine</i>	[55]
<i>Socio-cultural analysis</i>	[261]
<i>Software engineering</i>	[255]
<i>Embedded products</i>	[260]
<i>Smart home</i>	[199]

Dominio	Publicaciones
<i>Cloud computing</i>	[258]
<i>Mobile-based</i>	[267]

3.2.7 MQ7. ¿Cuántos estudios proponen arquitecturas *software* para desarrollar ecosistemas tecnológicos?

El ámbito de la revisión tiene como objetivo localizar propuestas de arquitectura *software* o modelos y metamodelos, tal y como se ha descrito previamente utilizando el método PICOC. Para dar respuestas a las preguntas MQ7 y MQ8 se han clasificado las soluciones en dos categorías. La Tabla 8 muestra la relación de publicaciones según el tipo de solución planteada. En relación a las arquitecturas *software*, 11 de las publicaciones plantean soluciones de este tipo y 2 publicaciones plantean tanto una solución arquitectónica como una orientada al desarrollo dirigido por modelos (68,42% de los trabajos finales).

Tabla 8. MQ7, MQ8 – Publicaciones agrupadas por tipo de solución planteada. Fuente: Elaboración propia

	Publicaciones
Arquitectura <i>software</i>	[255], [79], [258], [55], [260], [199], [54], [261], [249], [200], [264], [266], [267]
MDE	[258], [259], [262], [263], [81], [265], [203], [267]

3.2.8 MQ8. ¿Cuántos estudios proponen ingeniería dirigida por modelos para desarrollar ecosistemas tecnológicos?

La Tabla 8 permite responder esta pregunta de mapeo. Se han identificado 6 soluciones relacionadas con la ingeniería dirigida por modelos o MDE y 2 publicaciones, como ya se ha comentado, que abarcan ambos tipos de soluciones (42,11% de los trabajos finales).

En base a los trabajos analizados, el número de soluciones para aplicar MDE en ecosistemas *software* es significativamente menor que las soluciones para definir o mejorar su arquitectura.

3.2.9 MQ9. ¿Cuántas soluciones se han aplicado en ecosistemas tecnológicos reales?

La última pregunta relacionada con el mapeo sistemático se basa en la afirmación de Manikas acerca de la importancia de utilizar ecosistemas *software* reales para llevar a

cabo estudios y plantear soluciones [242]. El objetivo de la pregunta es localizar propuestas arquitectónicas o de MDE que sean algo más que una propuesta teórica.

Para responder a esta pregunta se han clasificado las publicaciones en cuatro categorías: “real”, soluciones probadas en contextos reales con usuarios ajenos a los autores del trabajo; “prototipo”, soluciones probadas en un prototipo que no se indica que haya sido probado por usuarios ajenos a los autores del trabajo; “teórico”, se realiza una validación de la solución desde un punto de vista teórico, pero no se aplica en un prototipo o contexto real; “no”, únicamente se plantea la solución. La Tabla 9 muestra la relación de publicaciones en cada una de las categorías descritas. Tan solo 4 de los 19 trabajos finales se ha aplicado en ecosistemas reales (21,05% de los trabajos finales), considerando ecosistema real a aquel que está en producción con usuarios reales.

Tabla 9. MQ9 – Aplicación de las soluciones planteadas. Fuente: Elaboración propia

	Publicaciones
Real	[79], [55], [261], [263]
Prototipo	[255], [259], [260], [262], [264]
Teórico	[258], [199], [54], [81], [265], [266]
No	[249], [200], [203], [267]

3.3 Resultados de la revisión sistemática

Esta sección se centra en responder a las preguntas de investigación planteadas como parte de la revisión sistemática de la literatura. En primer lugar, se describirán las propuestas arquitectónicas encontradas en la literatura, luego las propuestas relacionadas sobre ingeniería dirigida por modelos y finalmente se analiza cómo esas soluciones tratan la definición y desarrollo de los ecosistemas tecnológicos.

3.3.1 IQ1. ¿qué tipo de propuestas de arquitecturas *software* existen para mejorar el desarrollo de los ecosistemas tecnológicos?

En el análisis llevado a cabo se han detectado 13 soluciones relacionadas con la arquitectura *software* en ecosistemas tecnológicos. Las soluciones planteadas se aplican en los diferentes dominios identificados en la Tabla 7. En primer lugar, 1 trabajo [255] tiene como dominio de aplicación la ingeniería del *software*, aunque se trata de una solución aplicable a cualquier ecosistema tecnológico, se clasifica en este dominio concreto porque no plantea una solución para desarrollar ecosistemas como tal, sino que plantea el desarrollo de un ecosistema para dar soporte a la toma de decisiones a

la hora de seleccionar componentes para un ecosistema *software*. Para desarrollar el ecosistema plantea una Arquitectura Orientada a Servicios (SOA, siglas del inglés *Service Oriented Architecture* [268]) donde cada componente es un microservicio de tal forma que los componentes se comunican entre sí mediante servicios REST [269, 270] y todos utilizan el mismo formato de transferencia. Proporciona diferentes vistas de la arquitectura, pero cabe destacar la organización parcial en capas de la vista *software* (Figura 16), donde se distingue una capa cliente, seguida por la interfaz de servicios que implementa un patrón Modelo Vista Controlador (MVC) [271], por último, en la última capa hay un conjunto de servicios básicos, como lo son la autenticación y el repositorio de conocimiento.

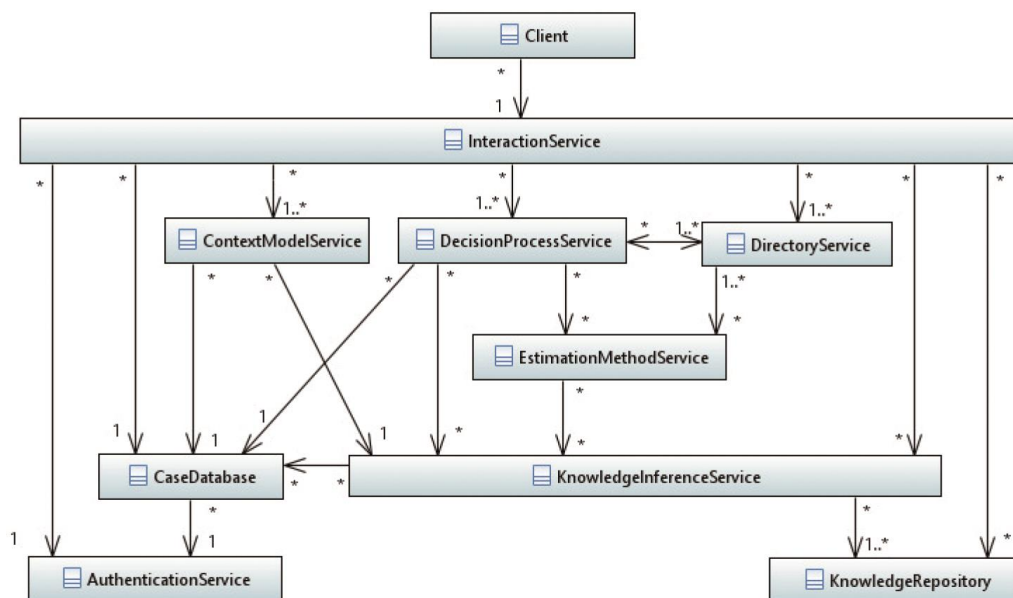


Figura 16. Vista *software* de la arquitectura COACH. Fuente: [255]

En segundo lugar, hay un conjunto de trabajos que se desarrollan en el contexto de las casas inteligentes, aunque los trabajos relacionados con este contexto se clasifican en dos dominios diferentes, *Smart home* y *Ambient-Assisted Living*, las soluciones planteadas son aplicables en ambos dominios. En particular, hay 2 trabajos [199, 264] que plantean soluciones en este contexto. Por un lado, el trabajo de Pillai et al. [199] define un modelo jerárquico de ecosistema que incluye todos los nodos y dispositivos que debe contener la arquitectura de un ecosistema digital para una casa inteligente, tanto para la configuración global de la casa como para su entorno. A su vez, el modelo está dividido en varios nodos que representan los diferentes tipos de dispositivos. En particular, hay uno nodo central que se encarga de centralizar el control de todos los dispositivos. Para evaluar el *framework* han utilizado MATLAB Simulink y OPNET.

Por otro lado, Camarinha-Matos et al. [264] plantea una arquitectura para definir ecosistemas para dar soporte a la vida cotidiana asistida por el entorno, en inglés *Ambient-Assisted Living* (AAL). Proporciona una descripción abstracta de la infraestructura tecnológica, las funciones de cada uno de sus componentes y las relaciones entre ellos para dar soporte a ecosistemas ALL. El objetivo de la propuesta es estructurar los desarrollos para ALL unificando la terminología utilizada y describiendo la funcionalidad base, así como el rol de los diferentes componentes dentro del ecosistema. Plantea una arquitectura organizada en tres capas (Figura 17). La capa inferior proporciona la infraestructura, se encarga de dar soporte al desarrollo y prestación de servicios de atención y asistencia. A su vez se divide en dos capas, una para dar soporte de manera local y otra para dar soporte entre los diferentes nodos locales que componen el ecosistema. La segunda capa proporciona la funcionalidad para ofrecer y gestionar un conjunto de servicios de atención y asistencia. Al igual que la capa anterior, también se divide en dos capas, una que representa la colección de servicios que tiene el ecosistema y otra que proporciona las herramientas para gestionar dichos servicios. Por último, la tercera capa proporciona a los diferentes actores involucrados en el ecosistema soporte para la organización, el gobierno y la colaboración desde una perspectiva socio técnica.

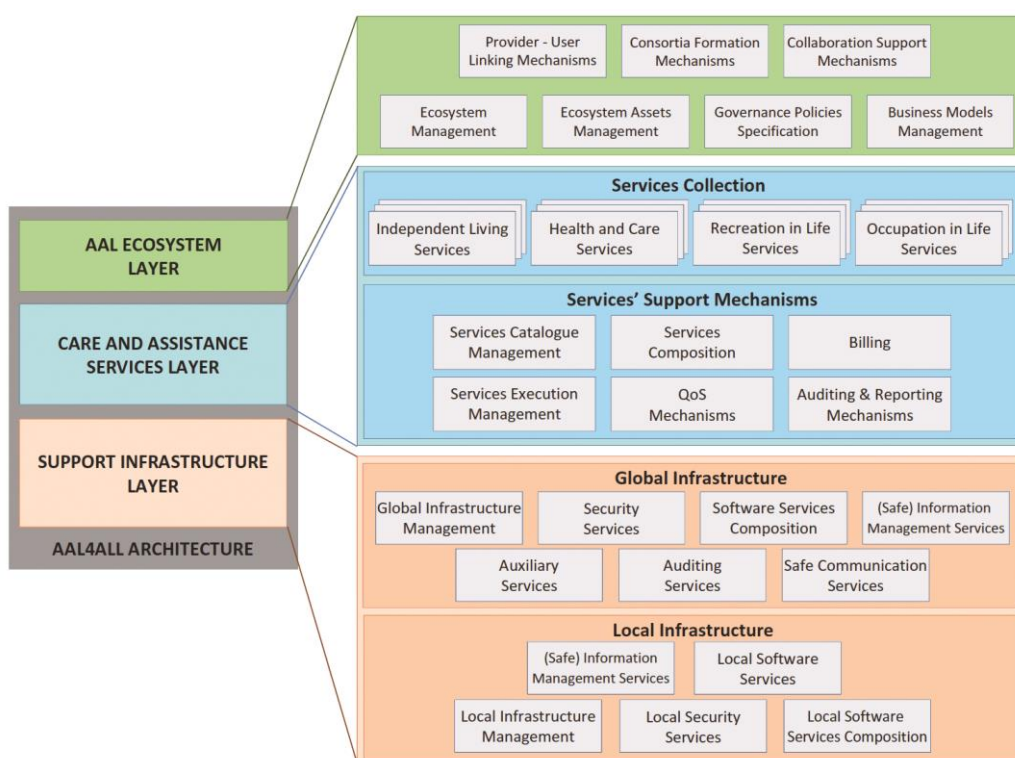


Figura 17. Propuesta arquitectónica del ecosistema AAL4ALL. Fuente: [264]

Estrechamente relacionado con la solución previa, pero enmarcado bajo el dominio de la telemedicina, se ha identificado 1 trabajo [55] que proporciona un conjunto de pautas de análisis y diseño para definir la arquitectura de ecosistemas *software*. En primer lugar, divide la arquitectura en tres estructuras que se relacionan entre sí: negocios, organizacional y *software*. La estructura organizacional contiene actores y componentes *software* que se relacionan para gestionar la interacción y organización de los elementos en el ecosistema. Esto incluye la definición de las fronteras del ecosistema, así como la coordinación entre actores y *software*. Además, los actores pueden tener diferentes roles y la interacción entre estos se verá influida por dichos roles. La estructura de negocio se centra en el modelo de negocio del ecosistema. Finalmente, la estructura *software* se centra en los actores y componentes que se relacionan para producir otros componentes del ecosistema. Esta estructura la describe mediante la definición de tres vistas arquitectónicas “*development view*” (cómo se desarrolla el *software*), “*functional view*” (cómo se comporta el *software* en funcionamiento), “*deployment view*” (cómo se despliega en el *hardware*).

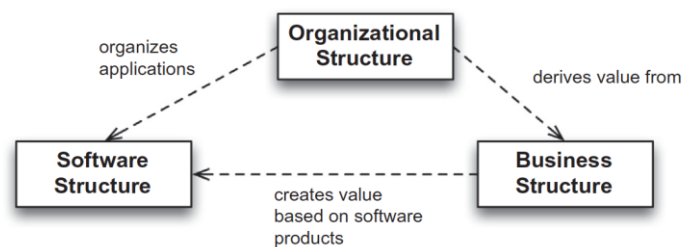


Figura 18. Relación entre las estructuras para definir la arquitectura de un ecosistema *software*. Fuente: [55]

A pesar de que la propuesta de [55] se desarrolla en el dominio de la telemedicina, se trata de una solución aplicable en otros contextos. En esta línea, se han encontrado 3 trabajos [54, 200, 249] cuya solución no se enmarca en ningún dominio concreto. En primer lugar, Ostadzadeh et al. [200] plantea un *framework* para dar soporte a la interoperabilidad de los ecosistemas *software*. El *framework* se basa en el *framework* propuesto por Zachman [272] y en una extensión del modelo SOSI (*System of Systems Interoperability*) [273] en el que incorpora una cuarta capa, cultura, que representa la presencia del ser humano como parte del ecosistema digital, no únicamente como usuarios del mismo. El modelo se centra en la interoperabilidad de los ecosistemas digitales. Para ello plantea un conjunto de actividades culturales, de gestión, constructivas y operacionales que deben ser implementadas de forma consistente en el ecosistema. El *framework* plantea tres dimensiones que deben tenerse en cuenta para

modelar un ecosistema digital: seis preguntas generales para entender la interoperabilidad (datos: qué, funcionamiento: cómo, red: dónde, personas: quién, tiempo: cuándo, motivación: por qué); las diferentes perspectivas de la interoperabilidad en el contexto de una organización; y las barreras identificadas en el modelo arquitectónico.

El trabajo de Ruokolainen y Kutvoynen [54] también plantea un *framework* arquitectónico basado en el estándar ISO 42010 [274]. El *framework* facilita el diseño y análisis de los ecosistemas de servicios, así como la formalización de su arquitectura. Para ello incluye siete vistas para definir diferentes aspectos de los ecosistemas de servicios: capacidad del ecosistema, coreografía de servicios, ciclo de vida, dominio ontológico, comprensión de los conceptos, gestión del conocimiento e ingeniería. Cada vista se define a través de un marco de aplicación, los *stakeholders* involucrados, los principales conceptos que se manejan y los tipos de diagramas UML que deben utilizarse para modelar esa vista.

El tercer trabajo que no se enmarca en ningún dominio concreto es [249]. Plantea un patrón arquitectónico basado en el concepto de *plugin* (*Pluggable Systems pattern*), en consonancia con la propuesta de [275] para utilizar este tipo de arquitecturas con el fin de maximizar la personalización, extensibilidad y capacidad de mantenimiento de los ecosistemas *software*. Se trata de un patrón organizado en capas, que introduce una capa que se encarga de registrar, cargar e inicializar los *plugins* para que el núcleo del ecosistema se encargue de conectar dichos *plugins* con los puntos de extensión correspondientes. El ecosistema se compone del núcleo y el conjunto de *plugins* que extienden su funcionalidad. El patrón cumple las características que la arquitectura de un ecosistema *software* debe tener según [28].

Se han encontrado 3 trabajos [79, 261, 266] relacionados con la gestión del conocimiento. Entre estos trabajos se encuentra el patrón arquitectónico definido como parte de la presente tesis doctoral [79]. Esto se debe a que la revisión sistemática se ha actualizado en marzo de 2018 y el trabajo mencionado ha superado todos los criterios definidos como parte del proceso de revisión. La descripción del patrón se realiza en el Capítulo 4.

Respecto a los otros 2 trabajos, se centran en la gestión del conocimiento, pero en dos ámbitos diferentes, el análisis sociocultural y los *living labs* [276]. Schmerl et al. [261] plantean una arquitectura basada en SOA para definir ecosistemas centrados en el

análisis sociocultural. La solución planteada se centra en un único ecosistema, pero este se puede adaptar y extender con diferentes componentes. Se trata de una arquitectura formada por cuatro capas que se comunican de arriba abajo, de tal forma que cada capa se comunica con la siguiente (Figura 19). La primera capa es la interfaz de usuario que ofrece un portal web que permite el acceso a las diferentes funcionalidades del sistema, así como la interfaz web de las aplicaciones de usuario. La segunda capa proporciona servicios específicos de análisis sociocultural para permitir la construcción, análisis y localización de los flujos de trabajo, así como proporcionar la gestión de los tipos y las abstracciones de datos propias del análisis sociocultural. La capa de servicios proporciona una API (*Application Programming Interface*) de servicios web estándar que las diferentes aplicaciones de la última capa, la capa de herramientas, deben implementar para integrarse en el ecosistema.

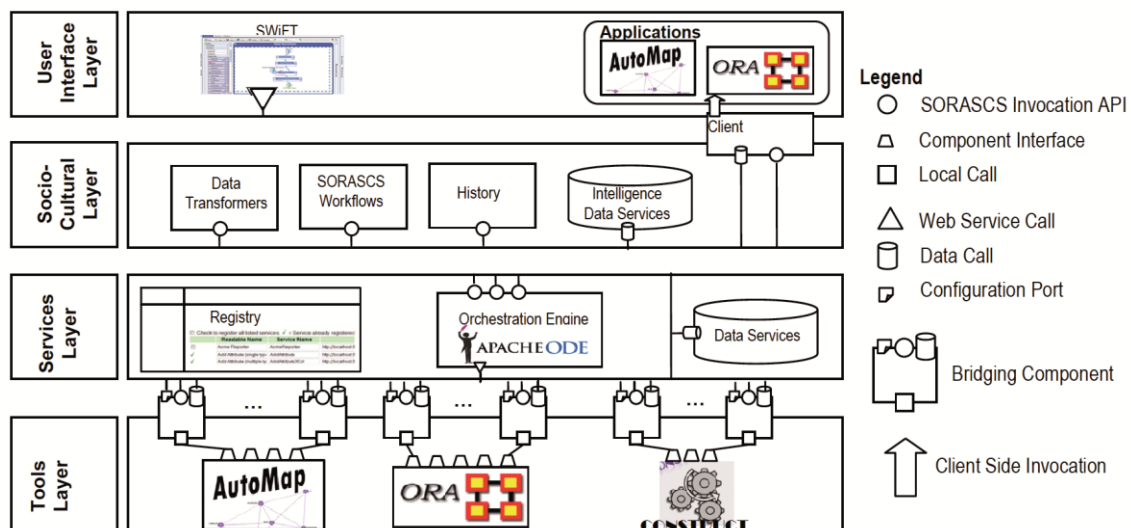


Figura 19. Patrón arquitectónico SORASCS. Fuente: [261]

En cuanto al trabajo de Tang et al. [266], propone una arquitectura para definir un ecosistema digital para un *living lab* (Figura 20). La propuesta se divide en dos partes, el entorno del *living lab*, que se centra en los usuarios y sus roles en el ecosistema – usuario final, investigador o desarrollador –; y la arquitectura que se centra en los componentes digitales desde un punto de vista técnico. La parte puramente tecnológica se divide en tres capas: la capa inferior engloba una red de servicios de terceros y una red de sensores distribuidos por el entorno donde está ubicado el *living lab*; la capa del medio es la capa principal, incluye los servicios para gestionar la capa inferior y un conjunto de servicios que proporcionan la red social; la capa superior proporciona los servicios a los usuarios finales. Respecto a los usuarios, se representan en dos bloques,

uno de desarrolladores, que intervienen en el desarrollo de las diferentes capas del ecosistema, y otro bloque de investigadores, que llevan a cabo investigaciones que pueden traducirse en nuevas implementaciones en el ecosistema. Finalmente, en la parte superior se representan los usuarios finales.

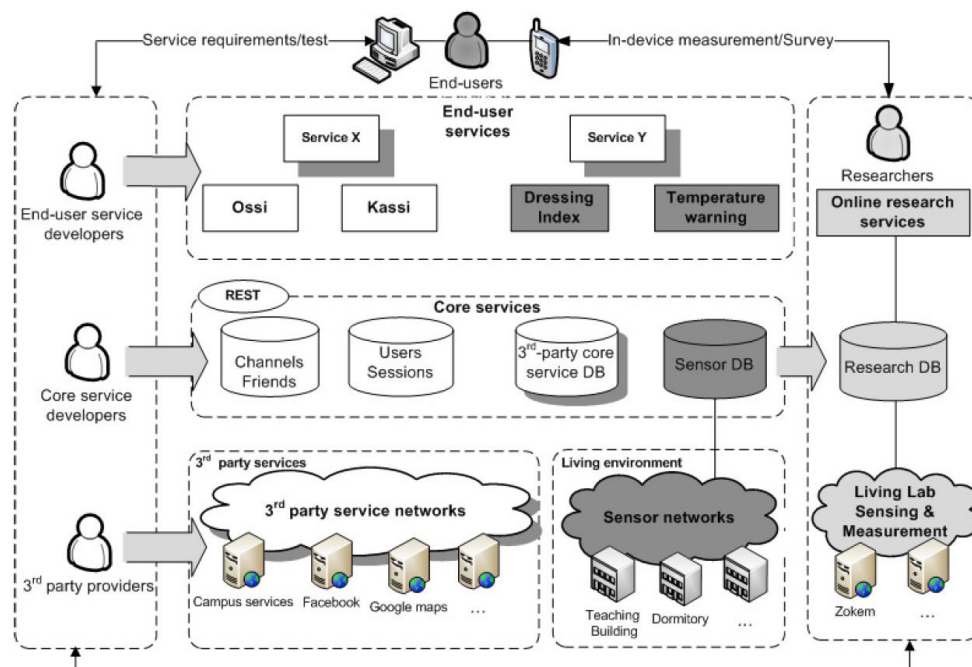


Figura 20. Arquitectura para el ecosistema digital de un living lab. Fuente: [266]

Los ecosistemas *software* abarcan contextos heterogéneos y su aplicación no se limita únicamente a entornos web o redes de sensores, sino que pueden aplicarse en sistemas integrados [260], sistemas *cloud* [258] o entornos telecomunicaciones móviles [267], entre otros. Concretamente, se ha identificado 1 propuesta arquitectónica en cada uno de estos dominios. En primer lugar, Eklund y Bosch [260] se centran en determinar cuáles son las decisiones de diseño claves para definir la arquitectura de un ecosistema *software* abierto para sistemas integrados producidos en masa. Describe la arquitectura de referencia a través de un conjunto de decisiones relacionadas entre sí y organizadas en varias capas o categorías: decisiones fundamentales, decisiones que impulsan el ecosistema y que forman la base para el resto de las decisiones relacionadas con la arquitectura de la plataforma; decisiones que facilitan el ecosistema, es decir, que activan un conjunto de mecanismos deseados en el ecosistema, proporcionan la base para la arquitectura de la plataforma y los mecanismos que deben dar soporte a las diferentes partes del ecosistema; y decisiones que guían la implementación del ecosistema, aquellas que brindan soluciones de cara a la implementación de la plataforma en dispositivos integrados. Además, la arquitectura de referencia

proporciona cuatro patrones arquitectónicos que se pueden instanciar para un dominio específico.

En el contexto de los sistemas *cloud*, Fernandez et al. [258] proponen un conjunto de patrones, unos ya existentes otros definidos por los autores, que cubren los diferentes aspectos de un ecosistema *cloud*. Todos los patrones han sido validados previamente y están representados mediante modelos en UML. A partir de los patrones define un diagrama en el que se muestran las relaciones entre los patrones, siendo la arquitectura de referencia *cloud* el patrón central que sustenta la definición del ecosistema. Los patrones y su combinación para producir arquitecturas de referencia permiten construir modelos de ecosistemas completos.

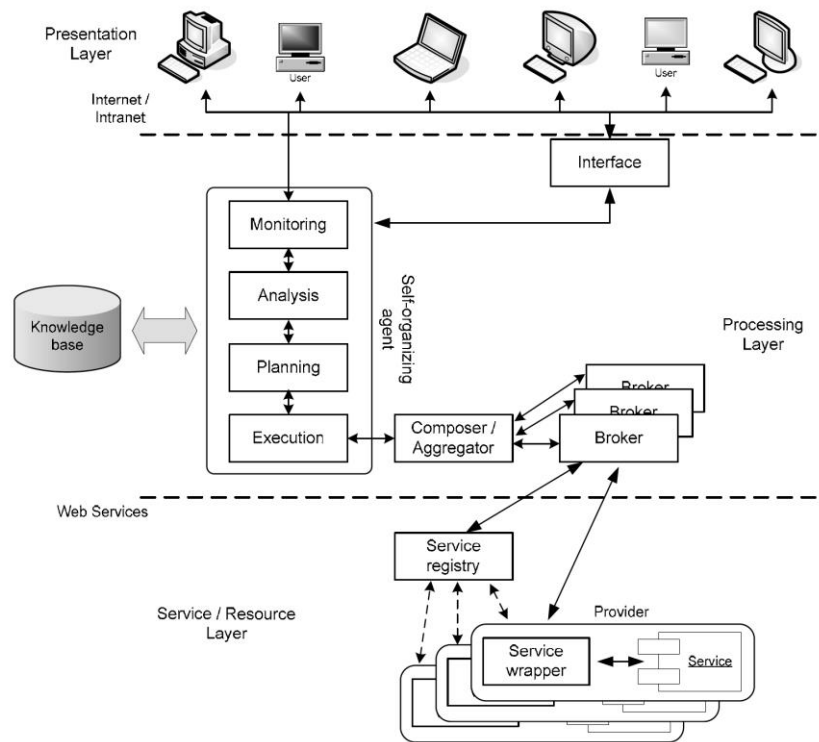


Figura 21. Propuesta arquitectónica SOA con capacidad de auto organización para definir ecosistemas de servicios. Fuente: [267]

Finalmente, la última propuesta de arquitectura *software* identificada en los trabajos seleccionados se desarrolla en el contexto de los operadores móviles [267]. Propone una arquitectura en capas que combina SOA y computación autónoma basada en agentes para definir ecosistemas de servicios. En concreto la arquitectura está compuesta por tres capas (Figura 21): una capa de presentación a través de la cual interactúan los usuarios; una capa intermedia de procesamiento que se encarga de llevar a cabo y coordinar diferentes tareas (monitorización, análisis, planificación y ejecución), es en la

capa donde se incorpora el procesamiento autónomo; y, por último, la capa de servicios o recursos que permite la utilización de los recursos distribuidos a través de servicios web, tiene todos los elementos típicos de un *framework* SOA y además incluye una base de conocimiento requerida por la capa superior para la toma de decisiones de forma autónoma.

3.3.2 IQ2. ¿qué tipo de propuestas de ingeniería dirigida por modelos existen para mejorar el desarrollo de los ecosistemas tecnológicos?

Durante el análisis de los trabajos seleccionados se han identificado 8 propuestas de ingeniería dirigida por modelos o MDE aplicada a ecosistemas tecnológicos o ecosistemas *software*. Cabe destacar que 2 de estas propuestas se encuentran en trabajos donde también se realiza una propuesta arquitectónica [258, 267], ambas descritas como parte de la pregunta de investigación IQ1.

En el contexto de los sistemas *cloud*, Fernandez et al. [258] completa la arquitectura de referencia basada en un conjunto de patrones arquitectónicos con un metamodelo sobre conceptos de seguridad en ecosistemas *cloud*. El metamodelo proporciona una base para describir y recopilar conocimiento relacionado con la seguridad y la privacidad en diferentes capas del ecosistema, de modo que resulta mucho más fácil seleccionar y combinar los patrones adecuados y el conocimiento asociado para abordar los problemas relacionados con la seguridad en los servicios *cloud*.

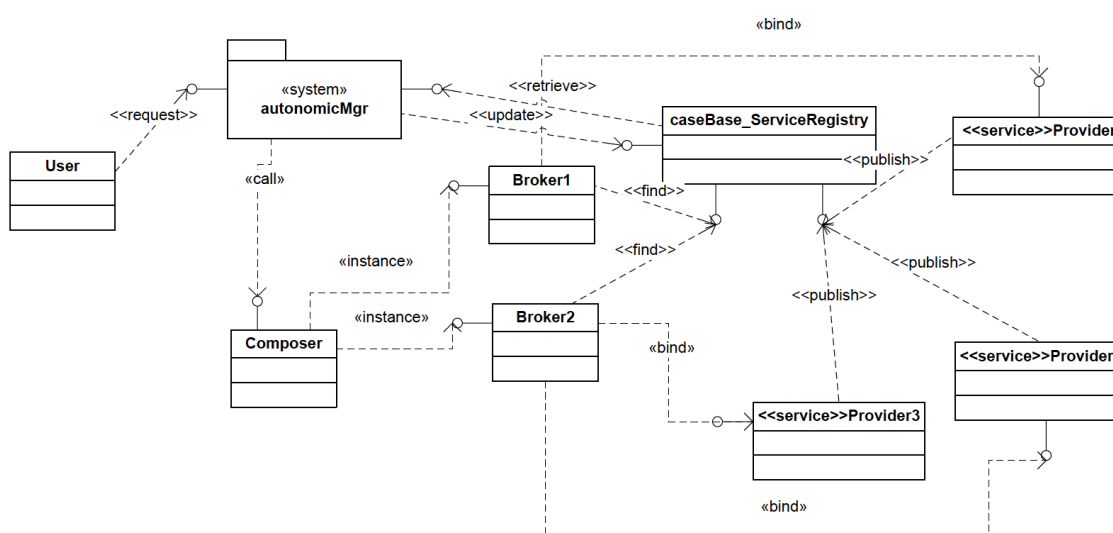


Figura 22. Metamodelo de la propuesta arquitectónica SOA con capacidad de auto organización para definir ecosistemas de servicios. Fuente: [267]

El trabajo de Bhakti et al. [267], define un metamodelo a partir de la propuesta arquitectónica, con el fin de proporcionar la base para definir modelos de ecosistema

que implementen la arquitectura propuesta para soportar servicios autónomos que se auto organicen dentro del ecosistema. El sistema correspondiente al agente que se encarga del procesamiento autónomo no está descrito en detalle, se representa como un sistema adicional (Figura 22).

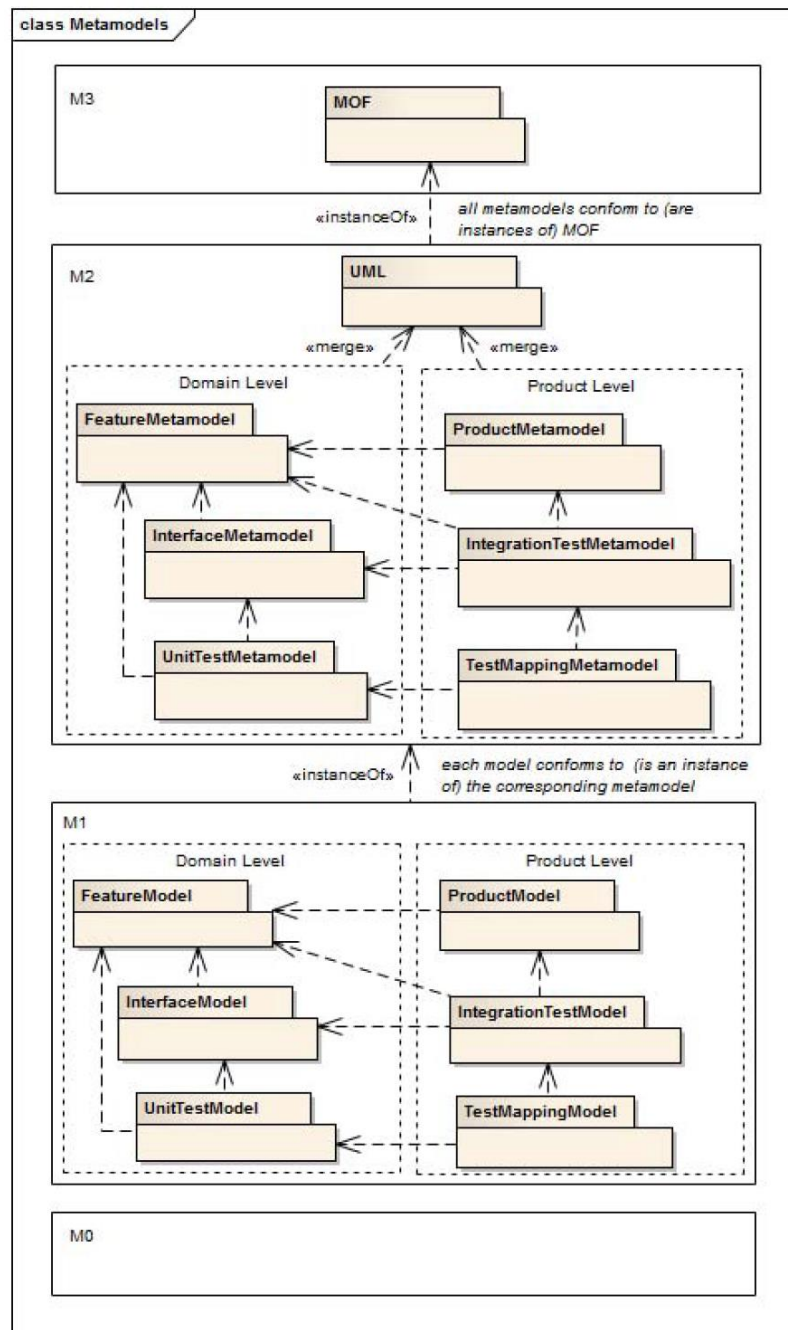


Figura 23. Modelos y metamodelos para probar y certificar productos antes de incorporarlos al ecosistema digital. Fuente: [259]

Además, hay un tercer trabajo que tiene relación con una solución arquitectónica ya descrita, concretamente la propuesta de [264] para definir ecosistemas AAL. Tanto el trabajo de Camarinha-Matos et al. [264] como el descrito por Lima et al. [259] se

desarrollan en el contexto del proyecto AAL4ALL, cuyo objetivo es desarrollar un ecosistema de productos interoperables para AAL. Lima et al. se centran en la definición de la metodología de pruebas y certificación para los componentes candidatos. Para ello, define un conjunto de metamodelos que tienen como objetivo probar y certificar componentes o productos que pueden pasar a formar parte de un ecosistema digital. Los metamodelos se complementan con reglas de transformación que permiten general modelos a nivel de dominio a partir de los productos o componentes candidatos. El enfoque basado en modelos y metamodelos permite sistematizar, automatizar parcialmente y aumentar la seguridad en las actividades relacionadas con pruebas y certificación en los ecosistemas digitales. En concreto, Lima et al. define seis metamodelos divididos en dos grupos, tres relacionados con el dominio de la solución y otros tres relacionados con el producto o componente que se desea probar y certificar (Figura 23).

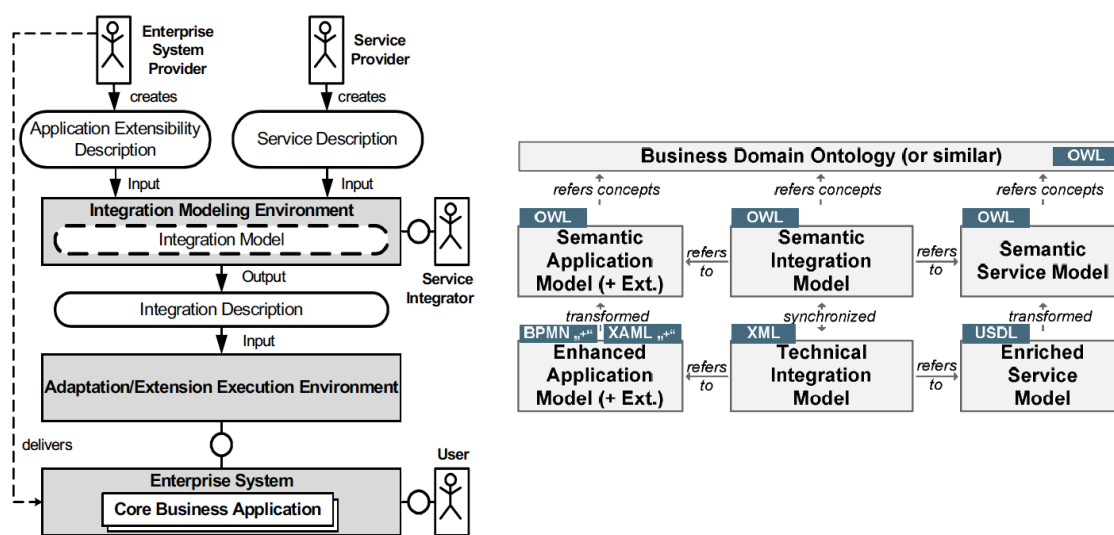


Figura 24. Framework y capas y modelado para integrar componentes en ecosistemas digitales en ejecución. Fuente: [262]

Se han identificado otras 2 soluciones centradas en gestionar la incorporación o modificación de componentes en un ecosistema *software* [262, 265]. En primer lugar, Heller y Allgaier [262] plantean un *framework* para integrar servicios en ecosistemas en ejecución mediante técnicas de modelado. El *framework* se compone de tres componentes principales (Figura 24): *Integration Modeling Environment*, *Adaptation/Extension Execution Environment* y *Enterprise System*. *Integration Modeling Environment* permite modelar todos los aspectos relevantes para integrar un servicio en una de las aplicaciones del ecosistema. Los modelos generados proporcionan todos los pasos de adaptación o extensión que deben llevarse a cabo para lograr la integración.

El resultado se le pasa al *Adaptation/Extension Execution Environment* que se encarga de llevar a cabo los cambios oportunos en el ecosistema o en un componente en particular (*Enterprise System*).

En segundo lugar, Seidl y Aßmann [265] definen un metamodelo en UML que permite representar los componentes de un ecosistema *software* junto con sus dependencias, así como los cambios que tienen lugar a lo largo de tiempo (Figura 25). El metamodelo es la base para definir una notación que permite obtener perspectivas temporales del ecosistema para ver su evolución. El metamodelo describe la evolución de los diferentes componentes mediante dos mecanismos. Por un lado, las versiones y marcas temporales, indicando desde qué momento y hasta cuándo está disponible una versión en el ecosistema y, por otro lado, mediante la relación de “Supersedes” (reemplazo) para indicar el orden de las versiones en el sistema. El metamodelo se puede utilizar para describir cómo ha evolucionado el ecosistema hasta la fecha y así analizar los cambios producidos para aprender de los mismos. Además, permite crear modelos futuros del ecosistema antes de cambiar la versión de alguno de los componentes con el fin de evaluar el impacto que tendrá el ecosistema.

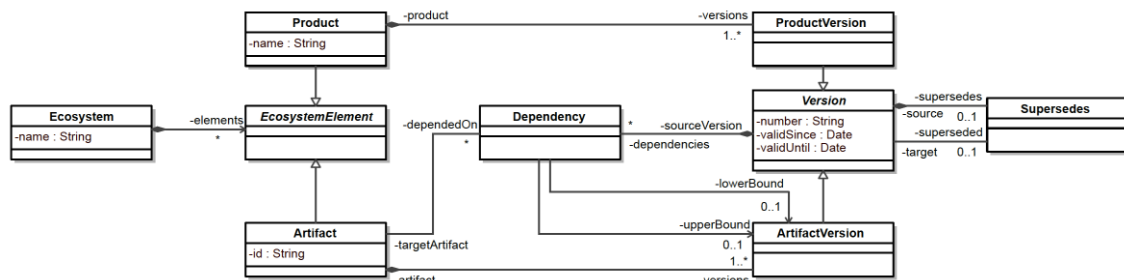


Figura 25. Metamodelo Tecmo (Technical Ecosystem Modeling Notation). Fuente: [265]

La solución propuesta por Boucharas et al. [263] también se centra en la definición de una notación para modelar ecosistemas *software*, al igual que hacen Seidl y Aßmann [265]. Fusiona los mejores aspectos de dos métodos de modelado existentes para formalizar un enfoque de modelado de ecosistemas *software* que permite describir de forma esquemática el contexto de un producto *software*, que es considerado un componente importante de la SSN (*Software Supply Network*), y la posición de relevancia que tiene en la SSN. Propone dos modelos que permiten definir y analizar el ecosistema *software* o SSN. Por un lado, el modelo *Product Deployment Context* (PDC) proporciona una vista rápida de la arquitectura y dependencias que existen entre los productos *software* en el entorno de ejecución. Por otro lado, el modelo de SSN permite

mostrar el modelo de negocio asociado a los diferentes productos *software* que componen el ecosistema, así como las dependencias con otras entidades o proveedores *software*. Para poder generar estos modelos, se define un metamodelo SEM (*Software Ecosystem Modeling*). La Figura 26 muestra el metamodelo que utiliza la notación *Meta-deliverable* propuesta por [277].

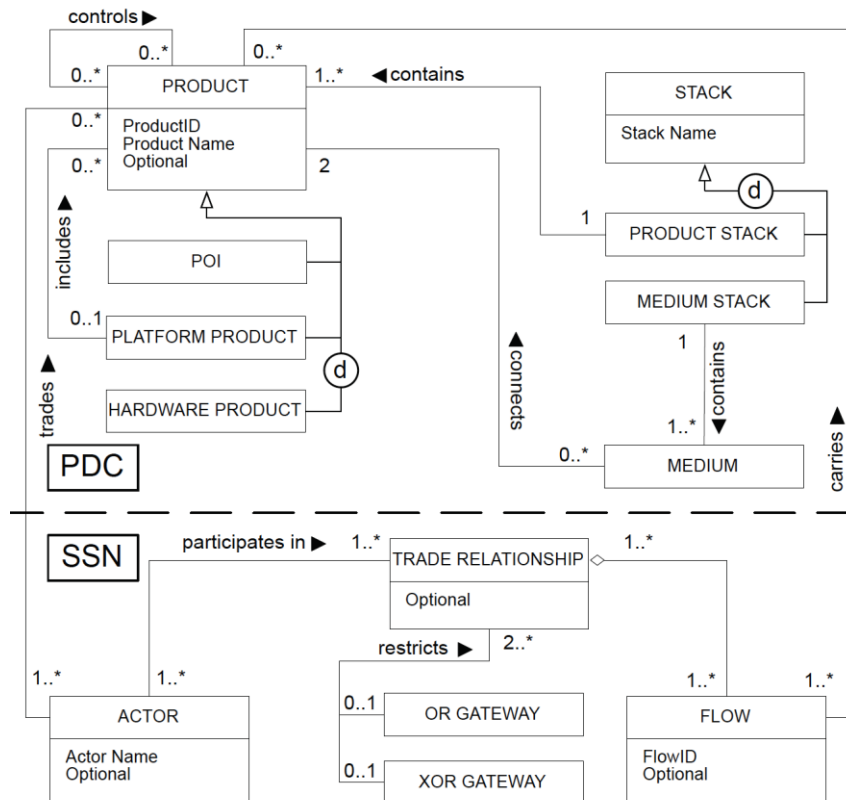


Figura 26. Metamodelo SEM. Fuente: [263]

Respecto al trabajo de Shen et al. [203], define un *framework* para modelar estándares y guías que sirven para regular el comportamiento de los diferentes actores o para definir las interfaces de los distintos recursos del ecosistema. El *framework* se compone de tres modelos: modelo de recursos, que describe servicios *software* con su entorno y las relaciones entre ellos; modelo de actores, que describe las relaciones comerciales entre actores y servicios *software*; y modelo de estándares, que describe las reglas técnicas y políticas para guiar la gestión, la interacción, la dependencia de los servicios *software* y los actores en el ecosistema *software*. Para cada modelo define un metamodelo a partir del cual instanciar modelos para ecosistemas concretos. Completa el *framework* con un perfil UML, UML4SSEco.

Finalmente, entre las propuestas relacionadas con MDE se encuentra la primera versión del metamodelo de ecosistema de aprendizaje definido como parte de la presente tesis

doctoral [81]. El trabajo ha superado todos los criterios definidos en el proceso de revisión tras la actualización en marzo de 2018. La descripción del metamodelo se realiza en el Capítulo 5.

3.3.3 IQ3. ¿cómo las soluciones propuestas tratan el desarrollo de los ecosistemas tecnológicos?

La mayor parte de las soluciones propuestas se centran en permitir la evolución del ecosistema *software*, de tal forma que el ecosistema soporte la incorporación de nuevos componentes o cambios en los componentes existentes [54, 55, 79, 199, 200, 249, 255, 259, 260, 262, 264-267]. Cabe destacar la solución propuesta por Axelsson et al. [255], a pesar de no tratarse de una solución directamente aplicable al desarrollo de ecosistemas tecnológicos, proporciona un conjunto de buenas prácticas a nivel de arquitectura que pueden aplicarse en otros contextos. Así mismo, el ecosistema propuesto influye directamente en la mejora del desarrollo de los ecosistemas tecnológicos porque da soporte a un proceso que habitualmente se realiza *ad-hoc*, la elección de componentes que forman parte de un ecosistema.

Ostadzadeh et al. [200] aborda la evolución del ecosistema desde una correcta definición de la interoperabilidad de sus componentes. Se centra en la mejora de la interoperabilidad mediante dos propuestas arquitectónicas, un modelo y un *framework* basado en dicho modelo. El *framework* es un esquema de clasificación para describir ecosistemas digitales y permitir arquitecturas *software* que permitan modelar los aspectos de la interoperabilidad socio técnica.

Las únicas soluciones que abordan explícitamente cuestiones de seguridad en los ecosistemas *software* son [258, 259], ambos a través de metamodelos.

Desde el punto de vista de los usuarios, [55, 79, 81, 199, 203, 263, 264, 266] incluyen usuarios o actores con diferentes roles como parte de la propuesta.

Varias de las propuestas arquitectónicas toman como base SOA, de tal forma que plantean la definición y desarrollo de ecosistemas como un conjunto de servicios que se comunican entre sí para proporcionar las herramientas necesarias a los usuarios finales del ecosistema [255, 261, 267]. Destaca la propuesta de Bhakti et al. [267] que incorpora un agente o gestor autónomo con la capacidad de adaptar los diferentes servicios del ecosistema a los cambios a partir de una base de conocimiento existente.

En cuanto al tipo de soluciones planteadas, [54, 55, 200, 203, 263] proponen *frameworks* para definir ecosistemas a través de un conjunto de métodos y artefactos. Por otro lado, [79, 199, 249, 258, 260, 261, 264, 266, 267] plantean patrones arquitectónicos. En [261] se plantea un modelo arquitectónico que no puede aplicarse para definir otros ecosistemas. Respecto a [81, 203, 258, 259, 265, 267] proporcionan una serie de metamodelos que permiten modelar diferentes aspectos de los ecosistemas, tales como la seguridad o la certificación de componentes.

Por último, cabe destacar la utilización de estándares para definir algunas de las propuestas. Los estándares que se utilizan en los trabajos son: UML [54, 55, 79, 203, 255, 258, 259, 265, 267], MOF [81], ISO 42010 [54, 55], OWL (*Web Ontology Language*) [262], BPMN [79, 262]. Por otro lado, hay una serie de trabajos que definen una notación para modelar algún aspecto de los ecosistemas *software* en lugar de utilizar los estándares existentes [199, 261, 263, 265].

3.4 Discusión

El número de trabajos que plantean propuestas de MDE es significativamente menor que el número de soluciones en las que se realizan propuestas arquitectónicas. Aunque teóricamente hay 8 propuestas en MDE, dos de ellas plantean técnicas de modelado para complementar la propuesta arquitectónica [258, 267].

A la hora de analizar los diferentes trabajos, independientemente del tipo de solución planteada y del dominio de aplicación, se ha detectado una falta de transferencia a entornos reales, es decir, gran parte de las soluciones propuestas no se han aplicado a la definición y desarrollo de un ecosistema real desplegado en un contexto que implique su uso por personas ajenas a los autores del trabajo. Manikas [242] pone de relieve la importancia de la transferencia entre el ámbito académico y la industria. Transferir la solución a un contexto real proporciona una base para validarla y permite que el conocimiento traspase la frontera académica y sea utilizado para mejorar problemas reales.

En particular, solo 3 propuestas arquitectónicas se han aplicado en contextos reales [55, 79, 261]. La propuesta de Schmerl et al. [261], en primer lugar, se desarrolló como un prototipo que fue probado en una reunión con 50 participantes. A partir de esa experiencia plantean una segunda versión disponible para su uso, aunque no se proporciona el enlace al ecosistema, el proyecto dispone de página web donde se puede

verificar que es un ecosistema real. La propuesta de Christensen et al. [55] se aplica en el ecosistema danés de telemedicina a través del ecosistema *software* 4S, compuesto principalmente por el *framework* Net4Care, que cubre los aspectos tecnológicos del ecosistema y una organización bajo el mismo nombre. En este caso los autores proporcionan un enlace al ecosistema <http://www.net4care.org>. Por último, la propuesta de García-Holgado y García-Peñalvo [79] indica que se ha probado en la Administración Pública española, concretamente en el Instituto Nacional de Administración Pública como organismo encargado del ecosistema tecnológico que aplica el patrón arquitectónico propuesto. Hace referencia a otra publicación donde se describe en detalle el caso de estudio [278].

Respecto a las propuestas de modelado, solo 1 ha sido implementada en contextos reales. Boucharas et al. [263] ha utilizado la notación de modelado de ecosistemas *software* para modelar la SSN de la empresa CubicEyes con sede en los Países Bajos. La propuesta de Boucharas et al. tiene una fuerte componente teórica pero su aplicación en una empresa real y la interacción con los trabajadores de la empresa permite validar la propuesta en un entorno real.

Las soluciones aplicadas en contextos reales suponen solo un 19,05% del total de soluciones identificadas en los trabajos (21 ya que se consideran dos trabajos que plantean dos soluciones cada uno). Por el contrario, 6 de las soluciones no se ha probado en ningún tipo de contexto ni se han validado de forma teórica (28,57% de las soluciones identificadas).

En cuanto a los trabajos que validan su solución mediante prototipos [255, 259, 260, 262, 264], cabe destacar el prototipo al que hacen mención [259, 264], desarrollado en el proyecto AAL4ALL (<http://www.aal4all.org>). Se trata de un ecosistema para la vida cotidiana asistida por el entorno o AAL. Las soluciones planteadas por los autores se desarrollan como parte del mencionado proyecto, pero ninguno de los dos trabajos proporciona información sobre el ecosistema real más allá de la aplicación de la solución. Además en [264] se proporciona un diagrama con los principales pasos a seguir a la hora de instanciar un ecosistema a partir del marco proporcionado, pero indica que el ecosistema no se ha instanciado en un contexto real por lo que claramente en 2013 todavía es un prototipo. Posteriormente, en 2016, [259] utiliza el ecosistema de ejemplo para validar el metamodelo de certificación de componentes, pero tampoco

proporciona datos del ecosistema más allá de la página del proyecto que no contiene ninguna referencia al producto ni al código.

Los otros tres trabajos mencionados [255, 260, 262] indican claramente que su implementación se ha llevado a cabo en prototipos. Es interesante el caso de [260] que proporciona una arquitectura de referencia para ecosistemas *software* embebidos y cuyo prototipo se ha testado en un vehículo real.

Finalmente, en relación a la validación de las soluciones, 6 se han validado de forma teórica, 4 arquitectónicas y 2 de MDE [54, 81, 199, 258, 265, 266]. Destaca el trabajo de Fernandez et al. [258] que proporciona un conjunto de patrones relacionados entre sí para proporcionar una arquitectura de referencia y explica cómo cada uno de los patrones ha pasado un riguroso proceso de validación por expertos.

La Tabla 10 muestra la relación de soluciones con el tipo de solución y el contexto donde se ha aplicado o validado.

Tabla 10. Distribución de las soluciones en función de su tipo y su validación. Fuente: Elaboración propia

	Arquitectura <i>software</i>	MDE
Real	[79], [55], [261]	[263]
Prototipo	[255], [260], [264]	[259], [262]
Teórico	[258], [199], [54], [266]	[81], [265]
No	[249], [200], [267]	[258], [203], [267]

Otra cuestión muy importante a la hora de plantear una solución es sustentarla sobre una sólida base teórica y/o práctica. El análisis de estudios previos o la experiencia adquirida por los autores en desarrollos anteriores sirven de pilares para plantear soluciones a problemas reales. En este sentido, 7 de los trabajos se basan en varias experiencias o trabajos previos [54, 55, 79, 81, 200, 264, 266], 7 no indican que lo hayan hecho [199, 255, 258, 262, 263, 265, 267], mientras que el resto de trabajos (5) se basan de forma parcial en trabajos o experiencias previas [203, 249, 259-261]. La Tabla 11 permite observar las soluciones planteadas en los diferentes trabajos clasificadas según la base teórico-práctica que sustenta la propuesta.

Tabla 11. Distribución de las soluciones en función de su tipo y la base en experiencias previas. Fuente: Elaboración propia

	Arquitectura <i>software</i>	MDE
Sí	[79], [55], [54], [200], [264], [266]	[81]
Parcial	[260], [261], [249]	[259], [203]
No	[255], [258], [199], [267]	[258], [262], [263], [265], [267]

Por último, aunque no todas las soluciones son directamente aplicables a la definición de nuevos ecosistemas *software* en dominios diferentes, todas ellas, a excepción del trabajo de Schmerl et al. [261], proporcionan pautas para definir otros ecosistemas *software*. Por ejemplo, la propuesta de Christensen et al. [55] se desarrolla en el dominio de la telemedicina, pero es aplicable a cualquier otro dominio para definir la arquitectura *software*, ya que lo que proporciona es el método y los artefactos para definir la arquitectura del ecosistema. Ocurre lo mismo con el trabajo de Fernandez et al. [258], la solución propuesta es para ecosistemas *cloud*, pero la metodología utilizada se puede aplicar para definir otros tipos de ecosistemas. Finalmente, el trabajo de Mahbubul Syeed et al. [249] plantea los ecosistemas *software* como un conjunto de plataformas o sistemas que se pueden extender a través de puntos de extensión para conectar otras herramientas con el objetivo de extender la funcionalidad del ecosistema. La solución planteada no es directamente aplicable a la idea de sistema de sistemas, pero proporciona las pautas para que se puedan añadir características y extensiones a los componentes del ecosistema de forma transparente y consistente.

3.5 Amenazas a la validez del estudio

La presente revisión sistemática y mapeo, al igual que cualquier método de investigación, puede sufrir amenazas a su validez, así como ciertas limitaciones. Durante el estudio descrito en este capítulo se han identificado una serie de amenazas organizadas en tres de las categorías propuestas por [279] y utilizadas en el contexto de las SLR por [198], entre otros. En particular, se han utilizado las siguientes categorías: validez del constructo, validez interna y validez de las conclusiones. Aunque existe una cuarta categoría, validez externa, no se ha tenido en cuenta debido a que los resultados de la revisión y el mapeo no se generalizan a otros contextos distintos a los ecosistemas *software*.

3.5.1 Validez del constructo

Una de las principales amenazas en cuanto a la validez del constructo es el conocimiento previo de los autores sobre el tema y la predisposición a alcanzar un resultado concreto tras llevar a cabo la revisión. Para limitar esta amenaza se han aplicado un conjunto de medidas que tienen como objeto asegurar la objetividad de los resultados. En primer lugar, para determinar si debía realizarse la revisión, la búsqueda de otras revisiones y mapeos se ha realizado a través de un proceso de búsqueda sistematizado y documentado. Respecto al protocolo de búsqueda de la presente SLR, se han definido un conjunto de criterios de inclusión y exclusión, así como una serie de criterios de calidad con el fin de evitar sesgos.

En segundo lugar, a pesar de definir un estricto protocolo de búsqueda no se garantiza que todos los trabajos relevantes en el campo estén incluidos en el estudio. A la hora de seleccionar las bases de datos se han definido unos criterios de selección para asegurar la calidad de los resultados. Las dos principales bases de datos en el ámbito de ciencias de la computación han sido incluidas. Además, dado que en revisiones sistemáticas previas se habían identificado trabajos relacionados con el modelado y la arquitectura en ecosistemas *software*, se han incluido manualmente estos resultados para mitigar este sesgo. También cabe destacar la definición de los términos de búsqueda, donde se ha intentado abarcar el mayor número posible de términos utilizados para hablar de ecosistemas *software*. Para lograrlo se han realizado varias búsquedas de prueba y se han observado las palabras clave de los resultados, de esta forma, varios términos desconocidos inicialmente se han añadido al proceso.

3.5.2 Validez interna

Respecto a las amenazas a la validez interna de la revisión sistemática y el mapeo, se ha identificado una amenaza. Determinar si una solución se ha aplicado en un contexto real no siempre es obvio y puede verse influido por el criterio de los autores. Por este motivo, la definición de las categorías para determinar clasificar las soluciones por su validación se hizo en base a los términos utilizados en las publicaciones, de tal forma que se distingue entre solución real, prototipo y validación teórica a través de algún tipo de análisis o modelado. Además, para determinar en qué categoría se ubica cada prueba o validación de la solución, en aquellos casos en los que los autores del trabajo no dejan claro si se trata de una prueba en un contexto real o si es un prototipo, se han

consultado los enlaces proporcionados en el trabajo y se ha buscado en Internet el rastro del prototipo o ecosistema real.

3.5.3 Validez de las conclusiones

La validez de la conclusión se refiere a si la investigación realizada es reproducible por otros investigadores con resultados similares. En este sentido, el protocolo de búsqueda y el proceso de extracción de los datos se ha descrito paso a paso y se ha documentado mediante una serie de hojas de cálculo (<http://bit.ly/2MJ9ihC>) y la disponibilidad de los resultados iniciales en GitHub [253].

3.5 Conclusiones

A la hora de llevar a cabo una investigación es necesario identificar el estado del arte en el que se enmarca. La presente tesis doctoral plantea la mejora de los ecosistemas tecnológicos desde el punto de vista de la ingeniería del *software*. Para ello se ha llevado a cabo la presente revisión sistemática y mapeo, con el fin de identificar las soluciones existentes en el ámbito de la arquitectura *software* y el desarrollo dirigido por modelos.

Para reducir en la medida de lo posible las amenazas a la validez del estudio se ha seguido un proceso sistemático basado en la metodología de revisión sistemática de la literatura o SLR adaptada por Kitchenham y Charters [67] al ámbito de la ingeniería. Además, la SLR se ha completado con un mapeo sistematizado de la literatura.

El protocolo se ha definido y documentado en detalle con el fin de que sea reproducible. Cabe destacar la realización de una revisión sistemática previa para determinar si algún SLR que responda a las preguntas de investigación planteadas. Esta revisión también se ha documentado en detalle en el Apéndice A y se ha razonado el contenido de cada una de las revisiones. Aunque no es el objetivo principal de la presente tesis doctoral, esta revisión sistemática de SLR y mapeos en el ámbito de los ecosistemas tecnológicos sirve de base para futuros trabajos; proporciona un estado de la cuestión a nivel global que abarca diferentes aspectos de los ecosistemas tecnológicos, tomando como puntos de referencia la revisión sistemática realizada por Manikas y Hansen [28] en 2013, y actualizada en el 2016 [242], y el mapeo sistemático de Barbosa y Alves [53].

Respecto a la elaboración del informe, enmarcado en el presente capítulo, se han seguido las pautas definidas por PRISMA [252] y se han verificado los puntos indicados en el *checklist* que proporciona (<http://bit.ly/2KxNbZO>). El diagrama de flujo PRISMA se muestra en la Figura 11.

La búsqueda inicial en las principales bases de datos científicas en el ámbito de ciencias de la computación ha proporcionado 349 registros que posteriormente se han reducido aplicando un estricto protocolo de evaluación. Finalmente, 19 trabajos han sido seleccionados para responder a las preguntas de investigación y mapeo planteadas. Esta cifra supone un 5,44% del total de registros y un 7,57% de los registros iniciales tras eliminar duplicados.

Los resultados tras aplicar la búsqueda en las bases de datos abarcan desde 2005 hasta 2018 (hay una publicación de 1995 pero se trata de un resultado relacionado con otra área de investigación que no quedó excluido al aplicar los filtros por área). Respecto a las publicaciones seleccionadas, se enmarcan entre 2009 y 2017 e incluyen 62 autores diferentes. En cuanto al tipo de publicación, la mayor parte de los trabajos seleccionados se han publicado en actas de conferencias (12) y el resto en revistas (7). Además, aunque las preguntas de mapeo no se centran en el análisis de las fuentes en las que están publicados los trabajos, en el análisis de los datos realizado en [253] destaca la alta presencia de conferencias de IEEE (5).

En relación a los términos utilizados para hablar de ecosistemas en el contexto tecnológico, el término más frecuente en ecosistema *software* (57,89%), seguido de ecosistema digital (21,05%), ecosistema de servicios (15,79%) y ecosistema tecnológico (10,53%). El resto de los términos utilizados solo aparecen en un trabajo. En cuanto al dominio de aplicación de las soluciones identificadas en los trabajos seleccionados, el 31,58% de las soluciones son de aplicación general, sin estar ligadas a ningún dominio, seguidas del 26,32% que se enmarcan en la gestión del conocimiento. Respecto al tipo de solución, se han encontrado más soluciones relacionadas con propuestas de arquitectura *software* (13) que con ingeniería dirigida por modelos (8), de tal forma que 2 de los 19 trabajos seleccionados plantean soluciones de ambos tipos. Finalmente, la Tabla 12 muestra los trabajos que se han utilizado para responder las preguntas de investigación.

Tabla 12. Resumen de los trabajos asociados a cada pregunta de investigación. Fuente: Elaboración propia

	Trabajos
IQ1	[55], [54], [79], [199], [200], [249], [255], [258], [260], [261], [264], [266], [267]
IQ2	[81], [203], [258], [259], [262], [263], [265], [267]
IQ3	[54], [55], [79], [81], [199], [200], [203], [249], [255], [258], [259], [260], [261], [262], [263], [264], [265], [266], [267]

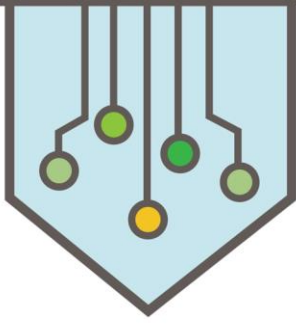
El análisis de las diferentes soluciones planteadas ha permitido identificar ciertas carencias a la hora de plantear mejoras en la definición y desarrollo de los ecosistemas orientados a la gestión del conocimiento y el aprendizaje. A pesar de que varias de las soluciones se desarrollan en el dominio de gestión del conocimiento, tal solo las relacionadas con la presente tesis doctoral se enmarcan en el contexto educativo.

Las soluciones planteadas a nivel arquitectónico describen propuestas interesantes, aunque no tienen en cuenta la metodología como parte de la propuesta. En la Sociedad del Conocimiento, donde la tecnología está guiada por los procesos de gestión del conocimiento, se hace necesario que las soluciones para desarrollar tecnología tengan en cuenta la metodología y otros factores humanos que guíen el ecosistema.

En relación a la ingeniería guiada por modelos, solo uno de los trabajos analizados plantea una solución para definir el ecosistema completo y abarcar tanto actores como tecnología [203], pero la solución planteada no está validada ni se ha probado en contextos reales. Esta solución tampoco incorpora la metodología como parte de la misma, sí plantea el modelado de estándares a través de guías, pero está más enfocado a soluciones en las que hay una plataforma central sobre la cual luego se desarrollan diferentes tipos de componentes (Amazon, Google App Engine, etc.). Además, el modelado de los actores se centra en el modelo de negocio y las transacciones asociadas, lo que no encaja en un modelo donde el centro es la gestión de conocimiento.

Por último, hacer hincapié en que las diferentes soluciones planteadas están enfocadas a ecosistemas *software*. Los ecosistemas *software* presentan varios matices diferentes al concepto de ecosistema tecnológico planteado en la presente tesis doctoral. En primer lugar, gran parte de la literatura se refiere a los ecosistemas *software* como sistemas formados por una plataforma o elemento central sobre el cual se construyen el resto de los componentes del ecosistema. En cambio, los ecosistemas tecnológicos son soluciones descentralizadas formadas por componentes heterogéneos que pueden funcionar de forma independiente pero que se integran en un ecosistema para proporcionar una funcionalidad adicional. En segundo lugar, algunas propuestas de ecosistema *software* hacen referencia al factor humano a través del concepto actor, pero no lo incorporan como un elemento del ecosistema, al mismo nivel que los componentes *software*. En cambio, en los ecosistemas tecnológicos se hace un mayor énfasis en la incorporación del factor humano como parte inherente del ecosistema.

La revisión sistemática llevada a cabo sirve de base para sustentar la presente investigación y plantear el desarrollo de una solución de modelado que permita mejorar la definición de los ecosistemas tecnológicos.



Capítulo 4

Patrón arquitectónico para la definición de ecosistemas de aprendizaje

La revisión sistemática de la literatura ha permitido conocer las soluciones existentes relacionadas con la arquitectura *software* y la ingeniería dirigida por modelos, con sus ventajas e inconvenientes, y reafirmar los objetivos de la presente investigación. En los trabajos revisados se presentan algunas soluciones de arquitectura y de ingeniería guiada por modelos para afrontar diferentes aspectos de la definición y desarrollo de ecosistemas tecnológicos o ecosistemas *software*, pero no se ha encontrado en la literatura soluciones centradas en los ecosistemas de aprendizaje.

Desde el punto de vista del desarrollo dirigido por modelos hay diversos trabajos que presentan metamodelos o modelos para resolver algunos problemas de los ecosistemas tecnológicos, tales como la seguridad y privacidad [258], la evolución e integración de componentes [259, 262, 265] o los estándares y guías para modelar el comportamientos de los diferentes actores del ecosistema [203], pero no hay ninguna propuesta que aborde la definición completa del ecosistema, es decir, que incluya tanto componentes *software* como el factor humano, no solo a través de los actores que participan en el desarrollo o los usuarios finales, sino de otros elementos no tecnológicos que influyen en la definición y evolución de este tipo de soluciones. Así mismo, la mayoría de los

metamodelos planteados no se sustentan en la definición de una arquitectura previa, a excepción del trabajo realizado por Lima et al. [259], en el que se aborda la certificación de componentes antes de incorporarlos al ecosistema, y del presentado en Fernandez et al. [258], enfocado en la seguridad en ecosistemas *cloud*.

Respecto a las propuestas arquitectónicas, hay un mayor número de trabajos que proponen soluciones para definir la arquitectura de los ecosistemas tecnológicos. Existen propuestas de diferentes tipos, desde un *framework* para definir la arquitectura de un ecosistema digital para una casa inteligente [199], hasta un modelo arquitectónico para definir un ecosistema de análisis sociocultural [261] o un patrón arquitectónico para definir ecosistemas para la vida cotidiana asistida por el entorno [264].

También se han encontrado varias propuestas que pueden adaptarse a los ecosistemas de aprendizaje para abordar algún aspecto concreto a la hora de definirlos. Hay que destacar el trabajo de Christensen et al. [55] que proporciona un conjunto de conceptos y pautas de análisis y diseño para definir la arquitectura de ecosistemas *software*, aunque inicialmente se aplica a ecosistemas de telemedicina. También es clave el trabajo de Eklund y Bosch [260] en el que define una arquitectura de referencia y un conjunto de decisiones de diseño para ecosistemas *software* embebidos.

El presente capítulo se centra en la definición y validación de un patrón arquitectónico para definir ecosistemas de aprendizaje. El patrón debe dar solución a problemas reales de los ecosistemas de aprendizaje para mejorar este tipo de soluciones tecnológicas. El objetivo es proporcionar las bases para posteriormente definir un metamodelo de ecosistema de aprendizaje que permita modelar ecosistemas reales basados en *software open source*.

Esta propuesta se desarrolla a lo largo de dos ciclos Investigación-Acción (Figura 27), el primer ciclo da como resultado el patrón arquitectónico y el segundo ciclo se centra en su validación y mejora en caso necesario. Las secciones del capítulo se han planteando siguiendo las etapas de cada ciclo de Investigación-Acción. En primer lugar, se realiza un análisis DAFO de un conjunto de ecosistemas de aprendizaje reales, con el fin de determinar los problemas de este tipo de soluciones y poder definir un conjunto de características deseables. A partir de las características, se define un patrón arquitectónico.

Posteriormente, se describe todo el proceso de validación del metamodelo a través del uso de diagramas BPMN, para analizar los problemas detectados en las etapas anteriores y compararlos con los diagramas obtenidos al aplicar el patrón arquitectónico. Finalmente, la definición del patrón arquitectónico se ha utilizado para definir varios ecosistemas de aprendizaje reales, con el fin de validar que es posible utilizarlo en soluciones reales.



Figura 27. Etapas del segundo ciclo de Investigación-Acción. Fuente: Elaboración propia

4.1 Análisis de ecosistemas reales

En la etapa de actuación del primer ciclo, tras la definición de los objetivos gracias a la revisión sistemática presentada en el capítulo anterior, se ha llevado a cabo el análisis de varios casos de estudio reales con el fin de obtener un modelo de dominio del problema. En concreto, se han analizado tres ecosistemas tecnológicos centrados en la gestión del conocimiento y el aprendizaje en contextos heterogéneos.

En primer lugar, el ecosistema de la Universidad de Salamanca [68], en el periodo que abarca desde enero de 2009 hasta enero de 2010, etapa en la que el director de la presente tesis doctoral fue Vicerrector de Innovación Tecnológica en dicha Universidad y donde la autora de este trabajo participó como parte del equipo de desarrollo.

En segundo lugar, el ecosistema de gestión del conocimiento del grupo de investigación GRIAL de la Universidad de Salamanca [70, 76], íntegramente definido e implementado por las personas implicadas en esta tesis doctoral desde 2010 hasta la actualidad, siendo el periodo analizado el que abarca desde enero de 2010 hasta enero de 2013.

Por último, el ecosistema para la gestión del aprendizaje informal resultado del proyecto europeo TRAILER [71-74], proyecto coordinado por el grupo de investigación GRIAL desde enero de 2012 hasta diciembre de 2013.

La técnica utilizada para estudiar los diferentes ecosistemas ha sido el análisis de las Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades (DAFO) [75]. Se trata de una técnica que proporciona un análisis interno del ecosistema, con el fin de detectar las fortalezas y debilidades, y un análisis externo, cuyo objetivo es identificar y analizar sus amenazas y oportunidades. Las debilidades proporcionan información relevante para plantear mejoras en la definición y desarrollo de los ecosistemas de aprendizaje. Las fortalezas permiten tener una idea clara de lo bueno, funcional y relevante que es el ecosistema. Finalmente, las oportunidades, junto con las amenazas, son una fuente de información para la evolución del ecosistema, ya que permiten tener en cuenta los factores externos que pueden afectar al producto. El análisis suele representarse en una matriz DAFO como la que se muestra en la Figura 28.



Figura 28. Matriz DAFO. Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se ha realizado un análisis comparativo y se han identificado los principales problemas a la hora de definir y desarrollar ecosistemas tecnológicos centrados en la gestión del conocimiento.

4.1.1 Casos de estudio

Los casos de estudio seleccionados abarcan un periodo de tiempo previo al inicio formal de la presente tesis doctoral. Se trata de ecosistemas de aprendizaje en los que la autora ha participado como ingeniera, desarrolladora y/o gestora.

Los ecosistemas analizados abarcan desde el año 2009 hasta 2013, de tal forma que las lecciones aprendidas en cada uno de los ecosistemas sirvieron como punto de partida para la definición del siguiente ecosistema.

En la Tabla 13 se pueden observar el periodo que abarca el análisis de cada uno de los casos de estudio. En primer lugar, a pesar de que el ecosistema de la Universidad sigue en explotación y evolución, se ha analizado únicamente el periodo de tiempo en el que la autora estuvo involucrada en su desarrollo. Respecto al ecosistema de GRIAL, se mantiene en continua evolución desde su definición en 2010, por lo que se ha analizado el ecosistema desde dicha fecha hasta la fecha de realización del presente análisis DAFO. Finalmente, el análisis del ecosistema de TRAILER abarca los dos años de duración del proyecto de investigación en el que se enmarca. A continuación, se describe el contexto y el análisis DAFO de cada uno de los ecosistemas de aprendizaje mencionados.

Tabla 13. Cronograma de los ecosistemas de aprendizaje analizados. Fuente: Elaboración propia

	2009	2010	2011	2012	2013
1. Universidad de Salamanca					
2. GRIAL					
3. TRAILER					

4.1.1.1 Ecosistema de aprendizaje de la Universidad de Salamanca

Dentro del contexto de la Universidad de Salamanca, surge en 2008, de la mano del Vicerrectorado de Innovación Tecnológica y con la colaboración de la Consejería de Educación de la Junta de Castilla y León, la Oficina de Cooperación Universitaria (OCU) y el Banco Santander, el proyecto Universidad Digital con el objetivo de “definir, adquirir e implementar la infraestructura física y lógica adecuada para que los procesos

de formación, investigación y gestión se puedan llevar a cabo utilizando la tecnología como una herramienta o un medio que los facilite o posibilite, sin que por ello esta tecnología suponga una barrera añadida a su desarrollo. Este objetivo se afronta desde una perspectiva estratégica que concluya con una solución integrada, coherente y accesible” [68].

Para el desarrollo de la Universidad Digital se plantea una arquitectura por capas basada en la propuesta realizada en el Libro Blanco Universidad Digital 2010 [280]. En esta arquitectura están presentes desde los niveles de infraestructura básica hasta los niveles de acceso o consumo de los activos digitales, tal y como se muestra en la Figura 29. Cada una de las capas planteadas está acompañada de una serie de directrices o recomendaciones que tienen una implicación más o menos directa con la tecnología y la docencia.

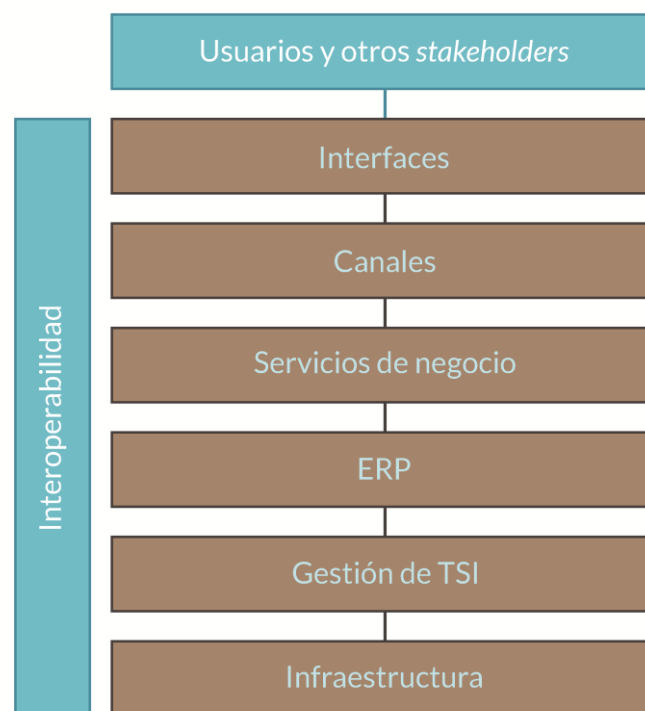


Figura 29. Arquitectura de la Universidad Digital. Fuente: Adaptado de [281]

La Universidad de Salamanca plantea la definición e implantación del ecosistema tecnológico institucional para gestionar todo el conocimiento que genera, tanto de forma interna, para lo que proporciona los medios necesarios para llevar a cabo los procesos de formación, investigación y gestión, como de forma externa, ya que aporta visibilidad a todo el conocimiento que posee la Universidad. El presente caso de estudio se centra en la parte del ecosistema dedicada a la gestión del aprendizaje.

En primer lugar, el ecosistema de aprendizaje se sustenta sobre un servicio de la Universidad expresamente creado para implantar la parte del ecosistema institucional relacionada con la formación, la Universidad Virtual [282]. Este servicio proporciona el soporte metodológico del ecosistema de aprendizaje a través de la definición y activación de una serie de planes estratégicos [283]:

- Plan de formación para asegurar la penetración del ecosistema de aprendizaje entre la comunidad universitaria.
- Plan de asesoramiento en *eLearning* para la comunidad universitaria.
- Plan de desarrollo tecnológico.
- Plan de gestión de proyectos de innovación tecnológica y *eLearning*.
- Plan de evaluación y gestión de la calidad de la formación *online*.

Desde el punto de vista tecnológico, el ecosistema de aprendizaje se compone de cuatro componentes *software* fundamentales: el portal web institucional, el repositorio documental, la plataforma *eLearning* y el gestor de *blogs*.

El portal web institucional permite gestionar la información pública de la Universidad de manera centralizada, de tal forma que todos los portales asociados a facultades, institutos, departamentos, servicios, etc. están contenidos en el portal institucional. La información está centralizada, pero a su vez soporta la gestión descentralizada, de tal manera que cada centro o servicio posee su propio espacio gestionable dentro del portal. Este componente del ecosistema se basa en la versión 6 de Drupal, un gestor de contenidos o *Content Management System (CMS) open source* que permite extender su funcionalidad mediante módulos desarrollados por una activa comunidad de usuarios. La instalación base del sistema incluye una serie de módulos con las funcionalidades básicas entre las que se incluye la gestión básica de contenidos, la estructura del sistema y la gestión de cuentas, roles y permisos de usuario. Para suplir las necesidades de información propias de una universidad, los Servicios Informáticos (CPD) han desarrollado un conjunto de módulos de Drupal. Actualmente, el portal institucional se sustenta sobre la versión 7 de Drupal con soporte *Multisite*.

El siguiente componente del ecosistema es el repositorio documental, bajo el nombre de GREDOS (Gestión del Repositorio Documental de la Universidad de Salamanca) (<https://gredos.usal.es>) [284, 285], tiene como cometido promover el Conocimiento Abierto y el movimiento *Open Access* [139, 286]. Se trata de un repositorio basado en

DSpace (<http://www.dspace.org>), una herramienta *open source* que permite administrar colecciones digitales de datos, a la vez que soporta una gran variedad de tipos de datos tales como libros, fotografías, tesis, informes técnicos, revistas, etc. Se trata de la herramienta más extendida entre las universidades de todo el mundo a la hora de realizar gestión documental.

El tercer componente, la plataforma de *eLearning* o *Learning Management System* (LMS), tiene como objetivo administrar, distribuir y controlar tanto las actividades de formación puramente a distancia como las que tienen un enfoque *blended learning* o *b-learning*. La primera versión del Campus Virtual, denominado Studium (<https://studium.usal.es>) [287], se basa en Moodle 1.9 (<https://moodle.org>), el LMS *open source* más extendido y con una comunidad de desarrolladores muy amplia, que permite incrementar la funcionalidad base mediante desarrollos de la propia comunidad o desarrollos propios. En particular, Studium tiene un conjunto de desarrollos *ad-hoc* para integrarlo con el sistema de gestión de estudiantes de la Universidad, certificar la formación *online* y mostrar diferentes estadísticas del uso del Campus Virtual. Además, a lo largo del periodo analizado se incorporan otra serie de funcionalidades para suplir las necesidades de los usuarios del ecosistema, siempre previa evaluación de calidad llevada a cabo por la Universidad Virtual. Actualmente Studium se basa en la versión 2.9 de Moodle.

Finalmente, el gestor de blogs, Diarium (<http://diarium.usal.es>), surge de la necesidad de proporcionar a la comunidad universitaria, desde los estudiantes hasta los docentes y el personal administrativo, un espacio personal donde poder gestionar su propio conocimiento. Un gestor de blogs es un tipo particular de gestor de contenidos cuya finalidad es permitir la creación y administración de un número ilimitado de blogs. Diarium se basa en la versión multiusuario de WordPress, WPMU (<https://mu.wordpress.org>), que actualmente está integrada en el núcleo de WordPress como WordPress Multisite (<https://wordpress.org>). El gestor de blogs establece una serie de flujos de información dentro del ecosistema institucional, principalmente con el servicio de gestión de identidad idUSAL, de tal manera que toda la comunidad universitaria tiene acceso a la herramienta y obtiene un blog personal cuando inicia sesión por primera vez. Cada usuario tiene acceso total a la gestión de su blog a excepción de dos restricciones: no puede variar el aspecto visual del blog para de esa forma asegurar la identidad institucional y no puede instalar nuevas funcionalidades

desde la interfaz de administración ya que dicha tarea se sustentaba en un plan estratégico trazado por la Universidad Virtual.

El análisis interno del ecosistema de aprendizaje de la Universidad de Salamanca se describe a continuación:

- Debilidades
 - La solución planteada a la hora de satisfacer los requisitos de información en el portal institucional introduce una fuerte resistencia al cambio. A pesar de realizar un desarrollo por módulos sustentado en un CMS muy flexible, la gran cantidad de funcionalidad que se ha implementado no tiene en cuenta permitir la evolución del ecosistema. La actualización del portal a una versión de Drupal superior requiere un desarrollo desde cero.
 - La integración entre los componentes no se ha realizado únicamente a nivel de lógica de negocio y de presentación, sino que ciertos flujos de información conllevan la integración a nivel de datos, lo que genera dependencias entre las aplicaciones.
 - La integración a nivel de presentación no sigue una única identidad corporativa de tal forma que cada elemento, aunque se mantienen diseños similares y se sigue un diseño institucional, no proporciona unicidad.
 - Algunos de los desarrollos *ad-hoc* llevados a cabo no permiten ningún tipo de reutilización.
 - El sistema es dependiente de la gestión de usuarios existente.
 - La gran envergadura del ecosistema requiere de un gran trabajo de mantenimiento y de un constante seguimiento para asegurar el correcto funcionamiento tanto desde el punto de vista metodológico como técnico.
 - Interoperabilidad limitada a ciertas conexiones *ad-hoc*.
 - No existe integración con redes sociales, de tal forma que la capa social se limita a los blogs.
 - La toma de decisiones se basa en informes *ad-hoc* no automatizados.
 - No existe soporte para dispositivos móviles.

- Fortalezas
 - La gestión de usuarios soportada por un sistema independiente a cada uno de los componentes que forman el ecosistema de aprendizaje permite asegurar que el sistema crezca y evolucione, permite añadir nuevos componentes o cambiar los existentes con el fin de ajustarse a las necesidades cambiantes que surjan a lo largo de los años.
 - El ecosistema de aprendizaje se sustenta sobre una sólida gestión técnica y metodológica involucrando a diferentes servicios de la Universidad coordinados desde el Vicerrectorado de Innovación Tecnológica, pero con poder para la toma de decisiones acerca del componente del ecosistema en cuya definición, implantación y gestión están implicados.
 - Aunque hay en el mercado soluciones *software* que cubren diferentes aspectos del ecosistema, las peculiaridades que tiene una universidad no están cubiertas por dicho *software*. El ecosistema tecnológico planteado permite establecer una conexión entre los diferentes componentes, lo que permite llegar a una integración en el nivel de gestión de los datos y adaptarse a las necesidades de la institución.
 - El uso de *software open source* permite realizar el desarrollo dentro de la propia Universidad con todas las ventajas que implica, tanto económicas como estratégicas.
 - La resistencia al cambio propia de cualquier despliegue de nuevas tecnologías se ha tenido en cuenta y se ha cubierto mediante una serie de planes estratégicos de formación, asesoramiento y evaluación y gestión de la calidad.
 - La escalabilidad, robustez, usabilidad, consistencia del sistema ha quedado patente al ponerse a disposición de toda la comunidad universitaria.
 - El desarrollo incremental del ecosistema permite poner en explotación los diferentes componentes a medida que se realizaba su despliegue e integración.
 - El repositorio permite un primer nivel de centralización de datos de diversa procedencia institucional (investigación, docencia, archivo institucional y acervo histórico), además de una clasificación y etiquetado semántico.

- Amplia difusión de los contenidos al integrar el repositorio con los principales recolectores nacionales e internacionales.

Respecto al análisis externo del ecosistema, a continuación, se describen las amenazas y oportunidades identificadas:

- Amenazas
 - El plan estratégico en el que se enmarca el ecosistema de aprendizaje depende en última instancia del equipo rectoral. El cambio de gobierno o un fuerte reajuste en alguno de los Servicios implicados puede paralizar el proyecto.
 - Al ser la Universidad de Salamanca una institución pública, cambios en la Administración Pública pueden afectar al planteamiento y sostenibilidad del ecosistema tecnológico.
- Oportunidades
 - La apuesta realizada por el *software open source* permite afrontar cambios en las herramientas *software* seleccionadas, de tal forma que si una de las herramientas queda obsoleta y es abandonada por la comunidad de desarrolladores de la misma, se puede sustituir por otra herramienta de características similares.
 - Al no depender de contratos con empresas externas y plantearse desde el principio como un proyecto que implica a toda la comunidad universitaria, una vez implantado el ecosistema tecnológico la financiación necesaria para mantenerlo es pequeña.
 - La definición, planificación, desarrollo y puesta en marcha del ecosistema tecnológico ha aportado *know-how* a los implicados en el proyecto que les permite posicionarse adecuadamente en el ámbito tecnológico y metodológico relacionado con la gestión del conocimiento.
 - Visibilidad que gana la institución a través del ecosistema de aprendizaje gracias al portal institucional y del repositorio documental.

4.1.1.2 Ecosistema para la gestión del conocimiento de GRIAL

El grupo de investigación GRIAL [69, 104], al igual que otros grupos y centros de investigación, genera una gran cantidad de conocimiento que, si no se le da la visibilidad adecuada, se pierde. Una mala gestión de toda la información y el conocimiento, tanto a nivel interno como a nivel externo, influye directamente en la sostenibilidad del grupo.

La experiencia adquirida en la definición e implantación del ecosistema de aprendizaje de la Universidad de Salamanca, descrito previamente, permite la definición y puesta en marcha de un ecosistema tecnológico para gestionar el conocimiento de manera adecuada dentro del grupo de investigación GRIAL.

El ecosistema tecnológico de GRIAL se compone, inicialmente, de cinco componentes principales conectados entre sí mediante una serie de flujos de información [76]: el portal web para dar visibilidad a la actividad del grupo, la plataforma de *eLearning*, el gestor de blogs, el repositorio documental y el sistema de gestión de usuarios.

En primer lugar, el portal web tiene como objetivo mantener toda la información del grupo de investigación de manera ordenada y disponible para cualquier usuario. A su vez, los miembros del grupo son los encargados de alimentar el portal de forma sencilla e intuitiva. Siguiendo la línea trazada por el proyecto Universidad Digital, el portal de GRIAL se basa en Drupal 6 (<https://grial.usal.es>) en el momento de llevar a cabo este análisis.

A pesar de que GRIAL forma parte de la Universidad, y por tanto tiene acceso a Studium como LMS, las iniciativas formativas del grupo muchas veces requieren el uso de herramientas experimentales que no pueden ser instaladas en la plataforma institucional. Además, una de las principales líneas de investigación de GRIAL desde sus inicios es *eLearning*, por lo que es necesario un espacio donde poder poner en práctica métodos y modelos didácticos de referencia en la formación *online*, así como experimentar desarrollos *software* orientados a mejorar la calidad del *eLearning*. La plataforma *eLearning* del ecosistema GRIAL se basa en Moodle 1.9 y posteriormente se actualiza a 2.4 (<https://polis.grial.eu>).

El tercer componente del ecosistema, el gestor de blogs (<https://agora.grial.eu>), tiene un doble objetivo. En primer lugar, proporcionar un espacio a los miembros del grupo para que el conocimiento informal se comparta, permitiendo que tanto el usuario como el grupo se beneficien del mismo. En segundo lugar, permitir la creación de páginas web o *microsites* como parte de los planes de difusión y diseminación de los proyectos de investigación en los que está involucrado GRIAL. Tras la experiencia en la definición y desarrollo integral del componente de blogs en el ecosistema de aprendizaje de la Universidad de Salamanca, el gestor de blogs de GRIAL se desarrolla sobre WordPress Multisite, es decir, la versión 3 de WordPress.

Respecto al repositorio documental (<https://repositorio.grial.eu>), se centra en gestionar todos los documentos generados por los miembros del grupo. Se incorpora un repositorio diferente a GREDOS por una particularidad del grupo de investigación, un gran número de los miembros de GRIAL no forman parte de la Universidad de Salamanca y, por tanto, no pueden subir documentos al repositorio institucional o tendrían que hacerlo a través de otro miembro, lo que dificulta los flujos de información sobre los que se sustenta el ecosistema. El repositorio de GRIAL se basa en la versión 3 de DSpace.

Finalmente, el quinto componente es el sistema de gestión de usuarios, cuyo cometido es centralizar la autenticación en los diferentes componentes del ecosistema de aprendizaje, de tal forma que los miembros del grupo tengan unificados los datos de identificación en los diferentes componentes a los que tienen acceso. El sistema de gestión de usuario se basa en Community-ID (<http://bit.ly/2IH7yZU>), un servidor de OpenID que actualmente está obsoleto.

Además de los diferentes componentes mencionados y de los flujos de información establecidos entre dichos componentes, existe un quinto elemento, el enfoque social. Dotar al ecosistema de características sociales permite mejorar la estrategia de diseminación del conocimiento gestionado dentro del mismo. No se trataba de crear una red social dentro del ecosistema, sino de utilizar las diferentes herramientas sociales ya existentes y sacar provecho de su funcionalidad al integrarlas en los flujos de información y diseminación.

En la Figura 30 se muestran los flujos de información y diseminación establecidos en el ecosistema, así como las principales herramientas sociales que se han incorporado para mejorar esos flujos. Cabe destacar que la mayoría de los flujos representados en el diagrama son automáticos y se realizan a través de servicios web, de tal forma que el usuario encargado de publicar la información no tiene que preocuparse de llevar a cabo las tareas de diseminación asociadas.

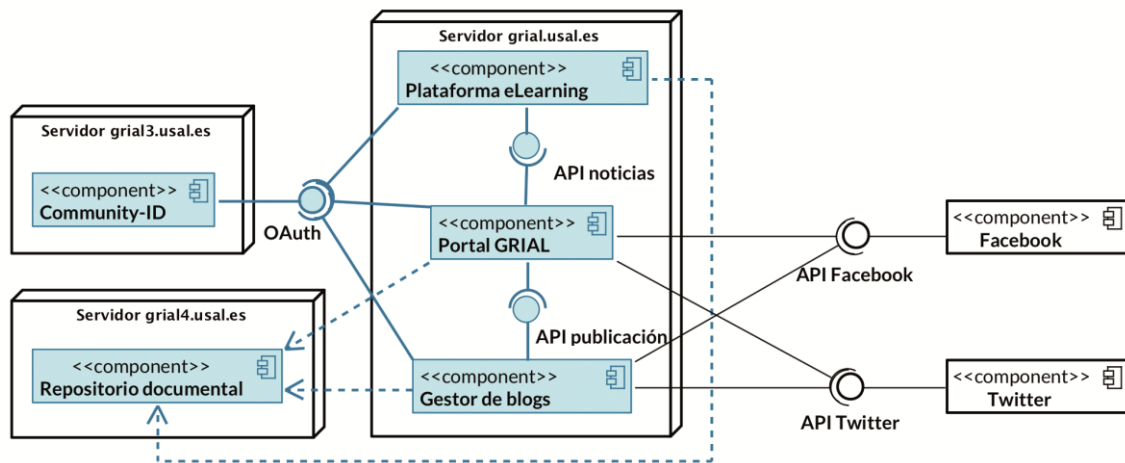


Figura 30. Arquitectura del ecosistema de aprendizaje de GRIAL con los principales componentes en color azul y las redes sociales incorporadas al ecosistema. Fuente: Elaboración propia

Respecto a los flujos de información entre los componentes, el ecosistema GRIAL se define bajo la premisa de lograr un alto grado de integración y cohesión entre sus componentes con especial atención a dos factores: mantener el mismo *look & feel* en todo el ecosistema mediante la definición de una sólida imagen corporativa de GRIAL [288] y permitir la interoperabilidad entre los diferentes elementos del ecosistema.

El análisis DAFO del ecosistema de GRIAL muestra los cambios introducidos tras la primera experiencia descrita en el caso de estudio previo. En primer lugar, se describe el análisis interno del ecosistema:

- Debilidades
 - La integración a nivel de presentación mantiene la identidad corporativa, pero sigue existiendo una falta de unicidad que muestre el ecosistema como un todo.
 - A pesar de que la autenticación de usuarios sea centralizada, no existe una gestión centralizada integral de usuarios, lo que impide un control global de los mismos.
 - Los flujos de diseminación permiten un mayor impacto de la información generada en el ecosistema, pero no existe una visión global del impacto conseguido mediante dichos flujos.
 - No existe ningún tipo de monitorización sobre el funcionamiento del ecosistema, por lo que no se dispone de la información necesaria para tomar decisiones relativas a la evolución del mismo.
 - No proporciona las herramientas necesarias para establecer flujos de trabajo relacionados con la toma de decisiones.

- Los datos del repositorio documental no son accesibles de manera transparente desde cualquier punto del ecosistema, sino que su utilización fuera del repositorio debe hacerse de forma manual.
- No existe soporte para dispositivos móviles.
- Fortalezas
 - Las soluciones *software* desarrolladas para satisfacer los requisitos de los diferentes componentes del sistema permiten la evolución del mismo, de tal forma que la actualización de alguno de los elementos *software* utilizados conlleva un esfuerzo mínimo de desarrollo.
 - La integración se ha llevado a cabo mediante el uso de servicios web, con lo que se mantiene la independencia entre los componentes y se proporciona una funcionalidad adicional al establecer ciertos flujos de trabajo.
 - El uso de un servidor único de autenticación de usuarios introduce una capa de seguridad adicional.
 - Los desarrollos *ad-hoc*, a pesar de cubrir necesidades particulares del ecosistema GRIAL, pueden ser reutilizados en otros entornos.
 - El ecosistema tecnológico se sustenta sobre una sólida gestión técnica y metodológica proporcionada por los miembros del grupo de investigación.
 - Aunque hay en el mercado soluciones *software* que cubren diferentes aspectos del ecosistema, las peculiaridades que tiene un grupo de investigación no están cubiertas por dicho *software*. El ecosistema tecnológico planteado permite establecer una conexión entre los diferentes componentes para proporcionar una funcionalidad adicional que no existe si se toman estos por separado.
 - El uso de *software open source* permite realizar el desarrollo dentro del propio grupo de investigación con todas las ventajas que implica, tanto económicas como estratégicas y de adquisición de conocimientos.
 - Integración de diferentes herramientas sociales como componentes satélites del ecosistema.
 - Existe un primer nivel de centralización de los datos gracias al repositorio documental.

- El desarrollo incremental del ecosistema permite poner en explotación los diferentes componentes a medida que se realiza su despliegue e integración.
- La resistencia al cambio propia de cualquier despliegue de nuevas tecnologías se ha cubierto mediante una serie de manuales, así como un soporte técnico continuo a través de correo electrónico.

En cuanto al análisis externo, las amenazas y oportunidades detectadas son las siguientes:

- Amenazas
 - El grupo de investigación se mantiene gracias a la autofinanciación dentro de la Universidad de Salamanca por lo que, si en algún periodo de tiempo no consigue proyectos de investigación, artículos 83 o un alto porcentaje de matriculados en los planes de formación que promueve, el planteamiento y la sostenibilidad del ecosistema tecnológico puede verse afectado.
 - Al tratarse de una entidad dependiente de una institución pública, la Universidad de Salamanca, los planes de recorte llevados a cabo por el gobierno regional y/o nacional pueden afectar de manera directa al núcleo del grupo pudiendo paralizar la continua evolución y mejora del ecosistema tecnológico.
- Oportunidades
 - La apuesta realizada por el *software open source* permite afrontar cambios en las herramientas *software* seleccionadas de tal forma que si una de las herramientas queda obsoleta y es abandonada por la comunidad de desarrolladores de la misma, se puede sustituir por otra herramienta de características similares.
 - El coste tecnológico para mantener el ecosistema es mínimo.
 - La definición, planificación, desarrollo y puesta en marcha del ecosistema tecnológico ha aportado *know-how* a los implicados en el proyecto que les permite posicionarse adecuadamente en el ámbito tecnológico y metodológico relacionado con la gestión del conocimiento.
 - Visibilidad que gana el grupo de investigación gracias a la estrategia de diseminación planteada.

4.1.1.3 Ecosistema para la gestión del aprendizaje informal (TRAILER)

El tercer caso de estudio se centra en el ecosistema tecnológico desarrollado como parte del proyecto europeo TRAILER [71-74]. Se trata de un proyecto financiado por la Unión Europea a través del *Lifelong Learning Programme* (Tabla 14). El principal objetivo del proyecto es lograr que tanto las instituciones y organizaciones, independientemente de su naturaleza o tipología, como las personas vinculadas a ellas adquieran conciencia de la importancia que tiene el aprendizaje informal [289] para el desarrollo personal de los individuos y para la toma de decisiones corporativas [52]. Esto implica una estrategia de gestión de conocimiento por ambas partes, entidad y personas vinculadas a la entidad, que incluya procesos que faciliten la realimentación entre ellos y el establecimiento de políticas en las que ambas partes salgan beneficiadas por el reconocimiento y puesta en valor de los activos propios del conocimiento informal.

Tabla 14. Datos del proyecto TRAILER. Fuente: Adaptado de [73]

Título	Tagging, Recognition and Acknowledgment of Informal Learning Experiences
Acrónimo	TRAILER
Financiación	Unión Europea
Convocatoria	Lifelong Learning Programme. Sub-Programme ICT (KA 3) Multilateral Projects
Referencia	519141-LLP-1-2011-1-ES-KA3-KA3MP
Investigador principal	Francisco José García-Peñalvo
Entidad coordinadora	Universidad de Salamanca (España)
Socios	Universitat Politècnica de Catalunya (España) Open Universiteit Nederland (Países Bajos) University of Bolton (Reino Unido) Dom Szkolen i Doradztwa Mykowska Aleksandra (Polonia) Instituto Politécnico do Porto (Portugal) University of Belgrade (Serbia)
Presupuesto	544.349€
Fecha de inicio	01/01/2012
Fecha de fin	31/12/2013
Web	https://trailerproject.eu

El primer paso para que esto ocurra comienza con la identificación por parte del individuo de las actividades de aprendizaje informal y el proceso posterior en el que dichas actividades se hacen visibles a la entidad de la que forma parte. Para llevar a cabo esta tarea es necesario el desarrollo de metodologías y herramientas que faciliten el proceso, con el objeto de hacerlo transparente tanto para el individuo como para la entidad, además de permitir que todos los actores involucrados formen parte de la mayoría de estos procesos.

Existen además una serie de sub-objetivos en torno al objetivo principal que marcan los objetivos del ecosistema de aprendizaje subyacente [71, 73]:

- Crear canales de comunicación entre las actividades de aprendizaje informal y los entornos institucionales que el individuo va a utilizar para hacer que su aprendizaje informal sea visible para la organización. Se busca así entablar un diálogo sobre las competencias desarrolladas a través de estos procesos informales.
- Definir procedimientos y herramientas con las que el usuario pueda etiquetar situaciones de aprendizaje informal, para así asociarlas con un marco predefinido de competencias.
- Crear un espacio en el que las situaciones etiquetadas puedan ser almacenadas y organizadas por el individuo, para de esta manera relacionarlas con el desarrollo de una o varias competencias y tener la opción de hacerlas visibles a la organización de la que forma parte.
- Proporcionar al usuario información sobre otros usuarios con intereses similares, lo que promueve el aprendizaje social y colaborativo entre los usuarios del sistema.
- Facilitar a las personas con responsabilidades sobre los recursos humanos de la empresa o institución el análisis de la información que los individuos han hecho visible, con el fin de poder proporcionarles realimentación y soporte, definir acciones formativas formales y no formales a partir de las actividades informales y establecer un diálogo con el estudiante para promocionar o reconocer las competencias adquiridas.
- Planificar e implementar acciones de diseminación que involucren a todos los actores relacionados con la formación profesional, las universidades, los contextos de aprendizaje de adultos y el aprendizaje en el puesto de trabajo.

- Planificar e implementar acciones de explotación que promuevan la adopción del sistema en contextos tales como la formación profesional, las universidades, el aprendizaje de adultos y el aprendizaje en el puesto de trabajo.

El ecosistema tecnológico proporciona el marco tecnológico para la gestión de competencias, especialmente aquellas adquiridas de manera informal, de tal forma que proporciona las herramientas necesarias para llevar a cabo dicha gestión desde el punto de vista de todos los actores involucrados, tanto los individuos como la empresa o institución a la que estos pertenece. Así mismo, el ecosistema se sustenta sobre un conjunto de metodologías y recomendaciones para la integración del aprendizaje en las instituciones y organizaciones.

La Figura 31 muestra los principales componentes del ecosistema TRAILER y los flujos de información establecidos entre ellos a través de diferentes interfaces. En primer lugar, el elemento central del ecosistema es el *portfolio* [290], cuyo objetivo es proporcionar al usuario un conjunto de herramientas para poder etiquetar, gestionar y almacenar sus experiencias de aprendizaje, habilidades y competencias adquiridas en contextos de aprendizaje tanto formales como no formales [291]. El *portfolio* debe ayudar al usuario a ser consciente de su propio aprendizaje, más allá de aquello que ha aprendido de manera formal. Su desarrollo se basa en el CMS *open source* Liferay (<https://www.liferay.com>).

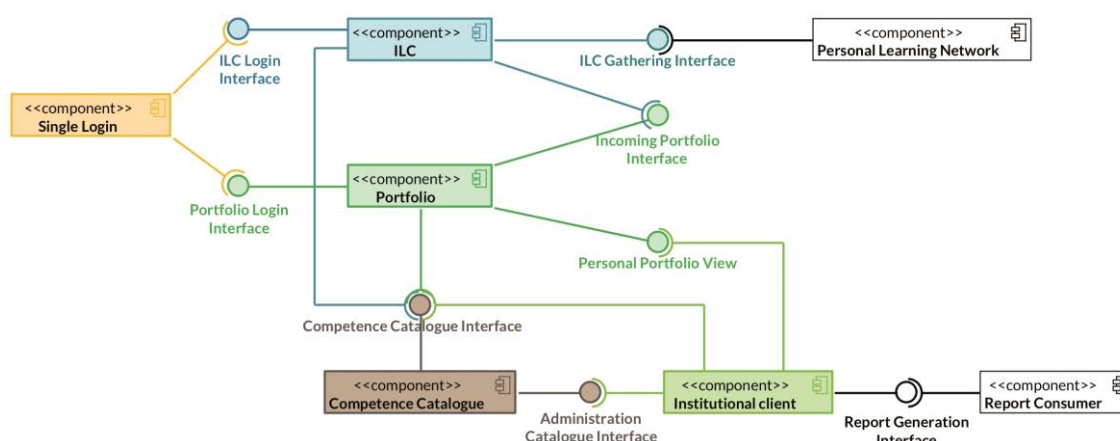


Figura 31. Arquitectura del ecosistema TRAILER con los principales componentes e interfaces. Fuente: Adaptado de [71]

El segundo elemento del ecosistema es un catálogo de competencias que se ha desarrollado en tres niveles de gestión [71]: un catálogo local que contiene las competencias agregadas por el usuario y no (necesariamente) validadas por la entidad; un catálogo con las competencias propias de la entidad al cual pasan a formar parte las

competencias definidas por los usuarios cuando son validadas por la entidad; y un catálogo general que proporciona a todos los catálogos institucionales un conjunto de competencias revisadas y aceptadas, inicialmente contiene las competencias y habilidades proporcionadas por la Clasificación Internacional Uniforme de Ocupaciones (CIUO-88) definida por la Organización Internacional del Trabajo (OIT) [292].

El tercer componente del ecosistema es el *Informal Learning Collector* (ILC). Se trata de un *middleware* que actúa de enlace entre el aprendizaje informal de los usuarios del ecosistema y su *portfolio*. Proporciona las herramientas necesarias para que los usuarios recolecten evidencias de su aprendizaje informal de tal forma que luego puedan incorporar a su *portfolio* las competencias asociadas a dichas evidencias.

El cuarto componente del ecosistema TRAILER se corresponde con el entorno institucional [293], que contiene las herramientas necesarias para procesar toda la información gestionada en los *portfolios* de los individuos, así como el catálogo de competencias relativo a la entidad, para abarcar las competencias institucionales y las de usuario. En la Figura 31 se muestra un único cliente institucional, pero se debe tener en cuenta que este componente se replica para cada una de las instituciones involucradas en el proyecto, de tal forma que cada entidad se conecta al catálogo de competencias general y al *portfolio*.

Por último, el componente encargado de gestionar la autenticación de dos de las principales herramientas del ecosistema, el ILC y el *portfolio*. *Single Login* se encarga de facilitar la creación de usuarios y la autenticación en las dos herramientas principales del ecosistema. El acceso al catálogo de competencias generales se reduce a unos pocos usuarios procedentes del consorcio del proyecto, de tal forma que la gestión de sus usuarios no se realiza desde este componente de *login*. De igual manera ocurre con los entornos institucionales, solo ciertos usuarios de la entidad pueden acceder a gestionar sus competencias institucionales y utilizar las herramientas de toma de decisiones.

Los flujos de información entre los componentes del ecosistema se han establecido mediante un conjunto de interfaces o API con el fin de asegurar la interoperabilidad y lograr un bajo acoplamiento entre los diferentes componentes. Todas las interfaces se han implementado mediante servicios web utilizando JSON-RPC [294] o REST [269, 270] y OAuth 1.0 [295].

El desarrollo del ecosistema se ha realizado de forma distribuida, la definición del mismo ha involucrado a todo el consorcio, pero cada componente ha sido responsabilidad de una entidad diferente. Además, la incorporación de los diferentes componentes al ecosistema se ha realizado a medida que se disponía de una versión funcional de los mismos, de tal forma que se han ido incorporando al sistema en periodos de tiempo diferentes.

El ecosistema tecnológico de TRAILER introduce grandes cambios tanto metodológicos como tecnológicos respecto a los dos casos de estudio previos. Estos cambios quedan patentes en el análisis DAFO. A continuación, se enumeran las debilidades y fortalezas detectadas durante el análisis interno del ecosistema:

- Debilidades
 - La integración a nivel de presentación mantiene la identidad corporativa, pero sigue existiendo una falta de unicidad que muestre el ecosistema como un todo.
 - El entorno institucional desarrollado *ad-hoc* es totalmente dependiente del resto de componentes. A pesar de que la integración se ha realizado mediante servicios web, existen fuertes dependencias a nivel de lógica de negocio.
 - La gestión de usuarios centralizada abarca únicamente dos componentes del ecosistema y solo a nivel de autenticación ya que los datos de usuario se derivan a cada uno de los componentes, lo que supone un paso atrás en la usabilidad del ecosistema.
 - No existe una explotación del carácter social en la gestión de las competencias, lo cual es una de sus mayores oportunidades.
- Fortalezas
 - La integración se ha llevado a cabo mediante el uso de servicios web, gracias a lo que se consigue una independencia entre los componentes y se proporciona una funcionalidad adicional al establecer ciertos flujos de trabajo.
 - El uso de *software open source* permite desarrollar el ecosistema con unos costes mínimos y de forma congruente con la política de uso de *software* libre promovida dentro de la Unión Europea.

- No existe en el mercado ninguna solución *software* que permita la gestión integral de competencias, tanto adquiridas de manera formal como informal, dentro de una institución o empresa.
- El ecosistema tecnológico se sustenta sobre una sólida gestión técnica y metodológica que involucra a diferentes universidades europeas coordinadas por el grupo de investigación GRIAL de la Universidad de Salamanca.
- La resistencia al cambio propia de cualquier despliegue de nuevas tecnologías se ha tenido en cuenta y se ha cubierto mediante una serie de talleres y experiencias piloto, las cuales han permitido definir los planes de explotación y la puesta en marcha del ecosistema en aquellas instituciones y empresas interesadas en darle valor a las competencias adquiridas de manera informal por sus estudiantes o trabajadores.
- El catálogo de competencias desarrollado *ad-hoc* puede ser reutilizado en otros entornos.
- Existe una gestión centralizada de las competencias gestionadas dentro del ecosistema.
- El desarrollo por componentes permite reducir los tiempos de desarrollo y de mantenimiento del ecosistema global.
- La arquitectura planteada permite la evolución de cada uno de los componentes del ecosistema de manera independiente, así como introducir nuevos componentes propios de la institución o empresa que despliegue el ecosistema TRAILER.
- Existe una visión global de los flujos de información gracias a las herramientas de toma de decisiones incorporadas en el entorno institucional.
- El *portfolio* posee soporte para dispositivos móviles mediante una aplicación desarrollada *ad-hoc*.

En cuanto al análisis externo:

- Amenazas
 - La estabilidad del ecosistema TRAILER depende de la financiación de la Unión Europea, lo que puede afectar a la sostenibilidad del ecosistema tecnológico.

- Una mala coordinación entre las diferentes instituciones puede provocar graves consecuencias en el ecosistema ya que, a nivel técnico, el *know-how* de cada componente lo posee la institución que lo ha desarrollado.
- Oportunidades
 - El coste tecnológico para mantener el ecosistema es mínimo tanto por parte del equipo de TRAILER como por parte de la institución o empresa que despliegue el ecosistema para su uso interno.
 - La definición, planificación, desarrollo y puesta en marcha del ecosistema tecnológico ha aportado *know-how* a los implicados en el proyecto que les permite posicionarse adecuadamente en el ámbito tecnológico y metodológico relacionado con la gestión de competencias y la toma de decisiones dentro de las instituciones y empresas.
 - Visibilidad que gana el estudiante o trabajador dentro de su institución o empresa.

4.1.2 Análisis comparativo de los ecosistemas tecnológicos

A lo largo del periodo que se extiende desde la definición del primer caso de estudio, el ecosistema tecnológico institucional de la Universidad de Salamanca, hasta el ecosistema TRAILER, existe una clara evolución tanto en el planteamiento de la solución como en la implementación de la misma. Dicha evolución queda patente si se observa cada uno de los análisis DAFO realizados, con especial hincapié en los apartados de debilidades y fortalezas donde los cambios de un ecosistema a otro son mayores, a la vez que se incorporan como fortalezas aquellos elementos que formaban parte de las debilidades en el ecosistema previo y se detectan nuevas debilidades que permitirán plantear mejoras en futuros ecosistemas.

El análisis comparativo de los diferentes casos de estudio se ha realizado a partir del análisis interno de cada uno de los ecosistemas de aprendizaje analizados. Hay cinco ejes fundamentales que guían el análisis interno de cada ecosistema: la gestión de usuarios, la gestión de la información o de los datos, la componente social, la integración entre los diferentes elementos del sistema y la capacidad de evolución. Además, existe otra serie de características que completan el análisis y que sirven de base para establecer las características deseables de un ecosistema de aprendizaje. Concretamente, se han identificado trece características: metodología, novedad,

usuarios, información, integración, movilidad, social, evolución, toma de decisiones, reutilización, *open source*, desarrollo y despliegue.

Las debilidades y fortalezas se han organizado en una tabla, de tal forma que las columnas representan cada uno de los ecosistemas de aprendizaje analizados, colocados por orden cronológico de izquierda a derecha, y las filas se corresponden con las características identificadas previamente. Se puede consultar la tabla en el Apéndice B.

El análisis comparativo proporciona una serie de indicios relevantes. En primer lugar, existe una clara evolución positiva desde el ecosistema de la Universidad de Salamanca hasta el ecosistema TRAILER. El conjunto de debilidades se ve reducido y las fortalezas se incrementan a medida que se observa cada caso de estudio. Se puede ver claramente en la toma de decisiones, la resistencia a los cambios, la componente social y la movilidad. Cabe destacar la toma de decisiones, en los dos primeros casos de estudio no se daba soporte dentro del ecosistema a este tipo de procesos, en cambio, el ecosistema TRAILER incorpora una herramienta de toma de decisiones. También es relevante el cambio relativo a la evolución del ecosistema, en el primer caso de estudio existe gran resistencia a los cambios debido en gran parte a los desarrollos a medida, problema al cual se intenta dar solución en los siguientes casos de estudio utilizando los mecanismos de extensión proporcionados por las herramientas *open source* seleccionadas.

Por otro lado, hay un conjunto de debilidades que se ha mantenido en el tiempo, de forma que están presentes en los tres casos de estudio. Esta situación tiene lugar en dos de los ejes fundamentales que guían el análisis, los usuarios y la integración de los componentes. En primer lugar, la gestión de usuarios se aborda de diferente manera en cada uno de los ecosistemas analizados, pero ninguno incorpora una solución que aborde el problema de forma integral. El ecosistema de GRIAL plantea una solución adecuada a la hora de establecer un servidor centralizado de autenticación, pero no existen unificación a nivel de datos de usuario. Respecto a la integración entre los componentes del ecosistema, únicamente el ecosistema de GRIAL transforma la debilidad en una fortaleza mediante el uso de interfaces y servicios web para establecer los flujos de información entre los componentes. No ocurre lo mismo con la integración a nivel de presentación, un problema detectado desde el primer ecosistema y que se ha intentado mejorar sin grandes resultados.

También existe un conjunto de características que han estado asociadas a fortalezas en todos los casos de estudio. Todos los ecosistemas planteados cubren unas necesidades que hasta el momento no estaban cubiertas por ninguna solución *software* existente. Además, en todos los casos la solución planteada se sustenta sobre una sólida base metodológica que permite una correcta definición del ecosistema y una adecuada gestión del mismo. La reutilización, el uso de *software open source* y el desarrollo incremental, propio de las metodologías de desarrollo ágiles utilizadas, son principios de desarrollo de *software* inherentes a la definición de ecosistema y, por tanto, solo son una debilidad si no se aplican.

Por último, la gestión de los datos se ha planteado de diferentes formas en cada uno de los casos de estudio, en todos ellos con un mismo objetivo, sentar las bases para una gestión centralizada de los datos. El ecosistema institucional supone un claro ejemplo a seguir, con el repositorio institucional como uno de los elementos más valiosos del sistema al estar integrado con los principales recolectores. En el ecosistema de GRIAL se sigue la experiencia previa y se establece un repositorio central, pero se ha detectado una debilidad que, a pesar de estar presente en el ecosistema institucional, en el del grupo de investigación se convierte en una necesidad que no ha sido cubierta, la integración del repositorio con el resto de los componentes de tal forma que los documentos sean accesibles desde cualquiera de los elementos del ecosistema. En el caso del ecosistema TRAILER no existe la necesidad de tener un repositorio, pero sí de un catálogo de competencias que en el contexto del proyecto realiza las veces de repositorio documental. El catálogo de competencias se plantea con el fin de establecer una gestión centralizada de las competencias logrando el objetivo propuesto.

La Tabla 15 muestra un resumen gráfico de la evolución de las debilidades y fortalezas. Por un lado, la evolución respecto a cada uno de los ecosistemas de aprendizaje analizados queda patente en el incremento de características en color verde a medida que se observan los casos de estudio de izquierda a derecha. Por otro lado, se pueden observar los cambios en cada una de las características analizadas y comentadas previamente.

Tabla 15. Gráfico comparativo de las diferentes características en función de las debilidades y fortalezas. Código: Verde, todo fortalezas; amarillo, igual número de fortalezas y de debilidades; marrón claro, mayor número de debilidades que de fortalezas; marrón oscuro, todo debilidades. Fuente: Elaboración propia

	Universidad	GRIAL	TRAILER
Metodología			
Novedad			
Usuarios			
Información			
Integración			
Movilidad			
Social			
Evolución			
Toma de decisiones			
Reutilización			
Open source			
Desarrollo			
Despliegue			

Los principales problemas identificados en los ecosistemas tecnológicos y en particular en los ecosistemas de aprendizaje se enumeran a continuación:

- La gestión del conocimiento dentro de una institución o empresa depende de una gran cantidad de factores internos (perfil de los trabajadores, flujos de trabajo, etc.) y externos (contexto cultural, mercado, etc.), que tienen una influencia directa en la definición y evolución del ecosistema tecnológico que respalda esta gestión.
- Existe una gran cantidad de información que no tiene suficiente visibilidad fuera del ecosistema tecnológico.
- Las instituciones y organizaciones no tienen suficiente conocimiento sobre el mercado de las TIC; esto es un problema cuando deben definir la mejor solución para cubrir sus necesidades. Hay muchas organizaciones que personalizan y adaptan soluciones *software* propietarias. Este tipo de *software* requiere una inversión continua para soportar las necesidades comerciales cambiantes. La integración con otros sistemas y el mantenimiento puede desencadenar problemas económicos y logísticos para las entidades que eligen este tipo de solución.
- Por lo general, el ecosistema no se implementa cuando se establece una empresa o institución. Muchas organizaciones e instituciones tienen soluciones tecnológicas que deberían integrarse con el nuevo ecosistema tecnológico.

- Las soluciones basadas en el *software open source* se adaptan mejor a las necesidades cambiantes de las entidades, pero la amplia gama de soluciones complica la selección de las herramientas adecuadas.
- Hay una gran cantidad de aplicaciones que se requieren para que las organizaciones respalden sus necesidades. En muchos casos, no existe una conexión adecuada entre las diferentes herramientas tanto a nivel tecnológico como metodológico. Esto a menudo implica inconsistencia en los datos que se distribuyen entre las diferentes aplicaciones. Como consecuencia, no existe una visión global de la información y el conocimiento generado dentro de la organización.
- La mayoría de las aplicaciones proporcionan herramientas para la administración y autenticación de usuarios. Esta característica es un problema de usabilidad, que se vuelve proporcionalmente peor cuando el número de componentes en el ecosistema aumenta.
- La integración de los componentes no siempre se realiza a nivel de lógica de negocios y de presentación. La integración generalmente se realiza a nivel de datos. Esto introduce fuertes dependencias entre las aplicaciones que supone una barrera para la evolución del ecosistema.
- La definición del ecosistema se realiza, en muchos casos, desde fuera de la empresa o institución. Esto implica que se requiere un mayor esfuerzo para definir adecuadamente los flujos de información y los objetivos a alcanzar.
- Existen fuertes necesidades evolutivas en los ecosistemas tecnológicos para adaptarlos a la evolución natural de las instituciones y organizaciones. La evolución puede realizarse a través de los mecanismos que se describen a continuación. Dependiendo del mecanismo utilizado, el sistema se verá afectado de diferentes maneras o incluso puede ocurrir que el mecanismo no se pueda implementar:
 - Cada componente evoluciona de forma individual, por lo que debe ser posible actualizar cada componente por separado. La actualización de un componente puede proporcionar la mejora de una función existente o la inclusión de una nueva característica. Además, en ambos casos, la actualización debe ser completamente transparente para el ecosistema.
 - Algunos componentes se pueden reemplazar para incorporar un nuevo requisito de la organización o para mejorar la funcionalidad existente.

- A lo largo del tiempo, las necesidades de la organización pueden evolucionar y pueden requerir cambios en la arquitectura del ecosistema. Por ejemplo, una redefinición de los flujos de información puede ser necesaria.
- Finalmente, Alspaugh et al. [296] introducen un cuarto mecanismo de evolución que no depende de la organización o del ecosistema en sí, sino de un cambio en la licencia de uno o varios componentes. Este cambio puede desencadenar desde una actualización en la licencia del propio ecosistema hasta cambios en algunos componentes para hacer cumplir los nuevos requisitos de la licencia.

4.2 Características de los ecosistemas tecnológicos

Los problemas detectados en los diferentes ecosistemas tecnológicos analizados permiten identificar una serie de características que debe poseer un ecosistema centrado en la gestión del conocimiento y en los procesos aprendizaje.

Se ha identificado un total de once características, no solo desde un punto de vista puramente tecnológico, sino también abarcando el factor humano como parte inherente de los ecosistemas tecnológicos:

1. Establecimiento de una sólida base metodológica y de gestión de proyecto y riesgos.
2. Definición clara de los procesos y flujos de trabajo necesarios para gestionar el ecosistema.
3. Gestión centralizada de usuarios, con cobertura tanto de la gestión de los datos como de la autenticación en todo el ecosistema.
4. Gestión centralizada de los datos estáticos, para que puedan ser utilizados en los diferentes componentes del sistema.
5. Integración de los componentes de manera transparente, para así asegurar la flexibilidad y la adaptabilidad del sistema frente a los cambios, es decir, se debe contar con un plan de aseguramiento de la evolución del ecosistema.
6. Potenciación de la reutilización de los componentes del ecosistema, lo que a su vez se transforma en un beneficio para la evolución de los diferentes componentes.
7. Integración a nivel de presentación que transmita unicidad, de tal forma que el usuario sea consciente de que se encuentra en el ecosistema.

8. Fuerte componente social que permita la integración con herramientas sociales.
9. Soporte para la toma de decisiones y para el análisis de los flujos de información, que tienen lugar tanto dentro del ecosistema como provenientes del exterior y viceversa.
10. Uso de *software open source* como base para el desarrollo de los componentes del ecosistema con el fin de beneficiarse de las ventajas de este tipo de *software*. Cabe destacar la posibilidad de la modificación del código, el soporte de una extensa comunidad de desarrolladores, así como la reducción de costes.
11. Definición de las estrategias y los planes de formación e inmersión necesarios para facilitar la aceptación del ecosistema por parte de sus usuarios finales.

4.3 Definición del patrón arquitectónico

El objetivo principal de la presente tesis doctoral reside en la mejora de los procesos de definición y desarrollo de los ecosistemas de aprendizaje centrándose en la arquitectura y el desarrollo guiado por modelos. De acuerdo a [28] la arquitectura software de un ecosistema debe respaldar la naturaleza del ecosistema (es decir, adaptarse a las necesidades del ecosistema específico), respaldar la gestión del ecosistema, las reglas y restricciones comerciales y permitir la integración y existencia de múltiples funcionalidades de forma segura y confiable.

El patrón arquitectónico para definir ecosistemas de aprendizaje debe dar solución a los problemas detectados durante la etapa de análisis descrita previamente y sentar las bases para, posteriormente, definir un metamodelo de ecosistema de aprendizaje que permita modelar ecosistemas reales que posean las once características identificadas en la etapa anterior del ciclo de Investigación-Acción.

La revisión sistemática de la literatura ha permitido conocer diversas propuestas arquitectónicas relacionadas con los ecosistemas tecnológicos, pero no se ha encontrado ninguna solución centrada en los ecosistemas de aprendizaje. Si se parte de las características deseadas en este tipo de soluciones tecnológicas, ninguna de las propuestas encontradas en la literatura incluye la metodología como un elemento a tener en cuenta en los ecosistemas, aunque sí existen propuestas que abordan la gestión del proyecto o la gestión de riesgos en diferentes fases del desarrollo del ecosistema [55, 200, 255, 260].

Respecto a la gestión de usuarios centralizada tan solo algunas propuestas abordan la gestión de los datos y/o el acceso de los usuarios al ecosistema [199, 255, 264, 266]. En cuanto a la gestión centralizada de algunos datos, tan solo [261, 266, 267] hacen referencia a servicios de datos o bases de conocimiento.

Existen varias propuestas que proponen una capa de presentación [267] o interacción [255, 261], así como una capa o componente centrado en dar soporte a la toma de decisiones [264], aquí toma relevancia una propuesta centrada en definir un ecosistema para dar soporte a la toma de decisiones en otros ecosistemas [255].

Por otro lado, ninguna de las propuestas afronta la interacción con herramientas sociales externas al ecosistema, aunque sí se aborda la integración de servicios de terceros, como es el caso del ecosistema para dar soporte a un *living lab* [266].

Las soluciones propuestas en la literatura, además de no estar enfocadas a la definición de ecosistemas de aprendizaje, no poseen gran parte de las características identificadas. Hay características que aparecen en varias de las propuestas, pero ninguna aún un conjunto significativo de las mismas. Por este motivo, es necesario definir un patrón arquitectónico que sienta las bases de los ecosistemas de aprendizaje, dando solución a los principales problemas detectados y asegurando la flexibilidad y adaptabilidad de los componentes del ecosistema con el fin de permitir su evolución.

El patrón propuesto se basa en el patrón de capas definido por Buschmann et al. [271] y describe la arquitectura lógica de un ecosistema de aprendizaje, independientemente del despliegue físico del sistema e incluyendo la metodología y el factor humano como elementos del ecosistema (Figura 32).

Las ideas principales del patrón se basan en los problemas detectados durante el análisis DAFO y el conjunto de características deseables que deben tener los ecosistemas de aprendizaje:

- Asegurar el desarrollo sostenible del ecosistema tecnológico de forma transparente, de modo que los cambios en el entorno no afecten al sistema en producción.
- Lograr un alto grado de integración y cohesión y un bajo acoplamiento entre los componentes del ecosistema.
- Permitir la gestión centralizada de los diferentes componentes del ecosistema, con especial énfasis en la gestión de los datos.

- Integración del nivel de presentación para asegurar la unicidad, de tal forma que el usuario sepa que está en el ecosistema.
- Permitir la administración centralizada de usuarios, que abarca tanto la administración de datos como la autenticación en todo el ecosistema.
- Apoyar la toma de decisiones basada en el análisis de los flujos de información que tienen lugar tanto dentro como fuera del ecosistema.
- Incluir el factor humano como parte del ecosistema tecnológico.

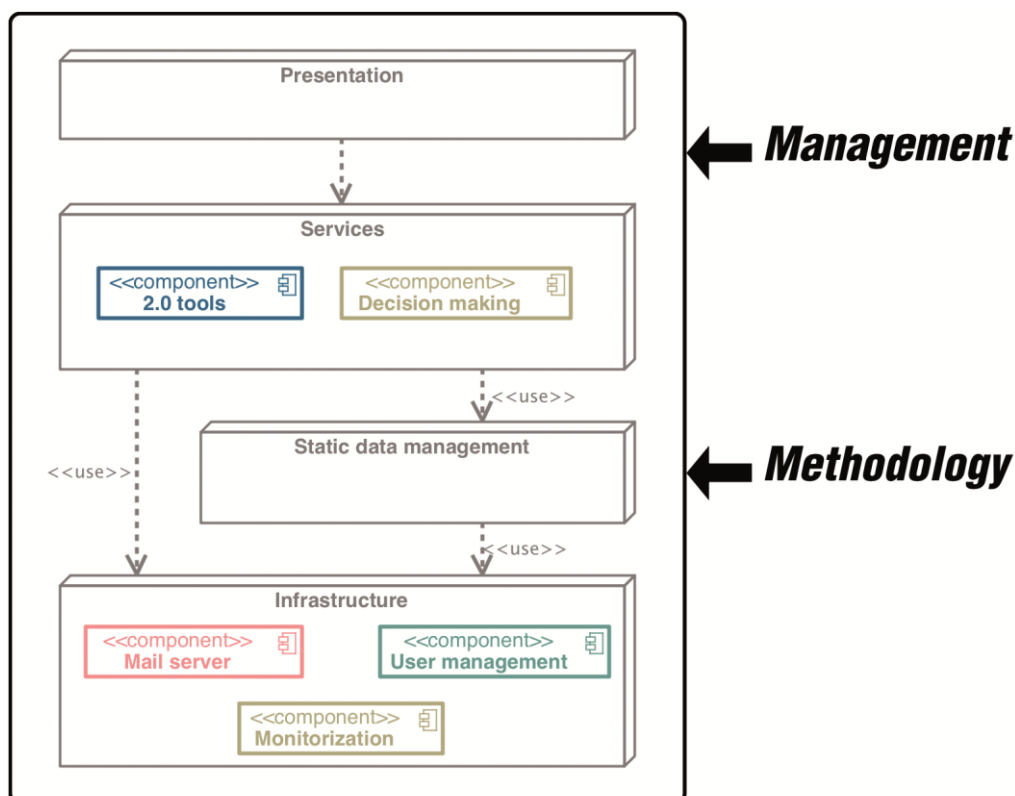


Figura 32. Patrón arquitectónico para definir ecosistemas de aprendizaje. Fuente: Elaboración propia

Se propone un esquema *top-down* compuesto por cuatro capas, a saber, presentación, servicios, gestión de datos estáticos e infraestructura, y dos flujos de entrada – metodología y gestión – que representan la relevancia de incluir el factor humano como parte del ecosistema tecnológico, no solo como meros usuarios del mismo. Además, la definición del patrón incluye un conjunto de componentes que cualquier ecosistema debería tener para lograr los objetivos fijados.

Los elementos de cada capa proporcionan un conjunto de servicios a los componentes de la capa superior. Las dependencias entre las capas están configuradas para lograr bajo acoplamiento y facilitar la reutilización de los componentes de las capas inferiores.

La primera capa, denominada infraestructura, incluye un conjunto de servicios que proporcionan funcionalidades básicas para el correcto funcionamiento de los componentes de *software* ubicados en las capas superiores. Los ecosistemas tecnológicos, al igual que los ecosistemas naturales, tienen elementos sobre los que se sustenta todo el ecosistema. Los componentes abióticos, como el agua o el suelo, podrían usarse en un contexto natural. En el caso de la tecnología, se han identificado al menos tres componentes *software* que se recomiendan para su inclusión en esta capa.

En primer lugar, un servidor de correo para dar soporte a la mensajería asíncrona y las notificaciones, alertas y suscripciones, que pueden ser realizadas por otros componentes. En segundo lugar, uno de los principales problemas detectados durante el análisis fue la descentralización de la administración de usuarios. Este problema se resuelve en el patrón mediante la incorporación de uno o más componentes para centralizar el proceso de autenticación y la gestión de datos de los usuarios.

En tercer lugar, la información que fluye a través de los componentes dentro del ecosistema puede proporcionar información valiosa para mejorar los procesos de toma de decisiones. El análisis de cada flujo de información no proporciona información útil, es necesario proporcionar una visión completa de estos flujos para obtener conocimiento. Para resolver estos problemas, se requiere un componente de monitorización que respalde los procesos de toma de decisiones a través de herramientas analíticas, incluida la gestión de los flujos de información.

El componente de monitorización se basa en el patrón de diseño Mediador. El patrón Mediador define un objeto que encapsula la interacción de un conjunto de objetos [297]. Este patrón de diseño se ha propuesto como una solución para encapsular las dependencias y reducir el acoplamiento en sistemas que integran diferentes componentes o servicios de *software* [298-300]. En el patrón propuesto, el componente de monitorización desempeña el papel de mediador entre el componente humano y los componentes tecnológicos. El sistema de monitorización encapsula los flujos de información que respaldan la interacción entre los componentes del ecosistema para monitorizarlos y promover la evolución del ecosistema. Sin embargo, los flujos de información se establecen directamente entre los componentes *software*. Por ejemplo, cuando el servicio A requiere información del servicio B, la conexión entre ellos no pasa a través del mediador; sin embargo, si el usuario X necesita analizar el flujo de

información entre los servicios A y B, no interactuará con cada servicio, sino que solicitará la información al Mediador.

La siguiente capa, la capa de gestión de datos estáticos, no representa una capa en el sentido estricto de la palabra, ya que no separa los servicios de la infraestructura. La centralización de toda la información generada y utilizada dentro de los ecosistemas tecnológicos introduce un alto grado de acoplamiento entre los diferentes componentes del sistema. Para evitar este problema, cada componente maneja su propia información y se definen los flujos de información necesarios en aquellos casos en que otros componentes requieren información. La capa de gestión de datos estáticos se implementa en el ecosistema para dar soporte al conjunto de datos utilizado por varios de los componentes con la premisa de que sean datos que no cambian constantemente, de ahí el uso del término estático. Por ejemplo, esta capa podría implementarse como un repositorio de datos o un sistema de gestión de documentos.

La tercera capa, denominada servicios, reúne los componentes *software* que cubren las necesidades específicas de una empresa o institución. La principal interacción entre los usuarios y los componentes *software* tiene lugar en esta capa. La capa de servicios introduce un alto grado de flexibilidad y adaptabilidad porque proporciona la adición, modificación y eliminación de diferentes componentes *software* sin afectar al resto de la arquitectura.

Cada ecosistema tecnológico debe proporcionar dos herramientas básicas entre sus servicios. En primer lugar, debe proporcionar una herramienta para apoyar los procesos de toma de decisiones a través del análisis de los flujos de información. Este servicio utiliza los datos recopilados por la herramienta de monitorización ubicada en la capa de infraestructura.

Por otro lado, la gestión del conocimiento no se centra únicamente en los procesos internos que tienen lugar dentro de una empresa o institución, sino que una buena gestión del conocimiento debe incluir procesos y métodos para proporcionar visibilidad al menos a una parte del conocimiento, con el fin de llegar al público interesado. Por esta razón, bajo el nombre de herramientas 2.0, se incluye un componente o un conjunto de componentes en la capa de servicios que permiten extender los flujos de información más allá del ecosistema.

Considerar a los humanos como parte de los ecosistemas de aprendizaje, no solo como meros usuarios finales, es una de las principales características de los ecosistemas. Según [301], las personas son solo usuarios del ecosistema sino que forman parte de su comportamiento general. Los usuarios son parte de los procesos de definición y desarrollo de los ecosistemas, no solo en la fase de obtención de requisitos [244], sino también durante todo el ciclo de vida del ecosistema. Los usuarios toman un papel activo en la evolución del ecosistema. De acuerdo con Booher [228] un enfoque centrado principalmente en las personas que están directamente expuestas a un sistema complejo permite reducir los problemas causados por el sistema y aumentar su rendimiento y su productividad. Esta idea se puede aplicar a los ecosistemas de aprendizaje porque son herramientas complejas que deben adaptarse a las necesidades cambiantes de las personas, desde los usuarios finales hasta los gerentes y los responsables de la toma de decisiones en la organización.

En el contexto de los ecosistemas *software* [55] destaca los actores como un componente fundamental del ecosistema, de tal forma que desempeñan diferentes roles dependiendo de su actividad en el ecosistema, no solo meros usuarios, sino también los encargados de orquestar el ecosistema, los desarrolladores externos.

Los procesos de ingeniería del *software* para desarrollar ecosistemas de aprendizaje deberían tener en cuenta este elemento humano al mismo nivel que la tecnología. Por esta razón, el patrón arquitectónico para definir ecosistemas de aprendizaje incluye el factor humano como un elemento clave.

El factor humano se representa en el patrón arquitectónico a través de tres elementos: una capa específica centrada en la interacción humana, la cuarta capa denominada presentación; un flujo de entrada para tener una fuerte base metodológica para apoyar la definición y el funcionamiento de todo el ecosistema; y un flujo de entrada para asegurar la gestión y la evolución del ecosistema a lo largo del tiempo.

La naturaleza heterogénea de las herramientas *software* que componen un ecosistema de aprendizaje hace que los usuarios finales perciban el ecosistema como un conjunto de partes, no como un todo. El objetivo de la capa de presentación es mejorar la usabilidad y la experiencia del usuario de los ecosistemas de aprendizaje fundamentalmente de dos maneras. En primer lugar, proporciona un diseño unificado, no solo visual, sino también relacionado con la interacción, para todos los servicios o funcionalidades proporcionados por las capas inferiores en el patrón arquitectónico. En

segundo lugar, hoy en día, los ecosistemas de aprendizaje se utilizan desde diferentes dispositivos con distintos tamaños de pantalla (*tablets*, *smartphones*, ordenadores) [208], por lo que la capa de presentación debe garantizar el acceso al ecosistema desde cualquier dispositivo.

El papel de los usuarios finales como impulsores del cambio en los ecosistemas de aprendizaje es evidente, pero existen otros factores inducidos por el ser humano que provocan cambios en los ecosistemas. Los dos flujos de entrada representan esos factores en cualquier tipo de organización. Ambos son el resultado del trabajo de una o varias personas.

Según el Diccionario de la Real Academia Española de la Lengua, una metodología es un conjunto de métodos que se siguen en una investigación científica o en una exposición doctrinal. En el contexto de la ingeniería del *software*, Rumbaugh et al. [302] definen la metodología *software* como un proceso para producir *software* de forma organizada, empleando una colección de técnicas y convenciones de notación predefinidas. El flujo metodológico en el patrón representa un conjunto de metodologías, no solo una metodología *software*, sino también metodologías de aprendizaje para guiar procesos formales e informales de aprendizaje, o metodologías de mejora de la calidad para garantizar la calidad de los procesos, entre otras. Este conjunto de metodologías proporciona una sólida base para aumentar las posibilidades de éxito del ecosistema, además de establecer las bases para evolucionar el ecosistema de manera correcta.

En cuanto al flujo de gestión, se centra en garantizar la aplicación de la metodología y proporcionar tanto la gestión del proyecto como la de riesgos para permitir la evolución del ecosistema. Las personas a cargo de los aspectos de gestión del ecosistema deben definir sus objetivos relacionados con la gestión tecnológica y del conocimiento en la organización. Cada objetivo puede aplicar una o más de las metodologías mencionadas anteriormente. El ecosistema de aprendizaje evolucionará para cumplir los objetivos.

4.4 Validación del patrón arquitectónico

El primer ciclo de Investigación-Acción proporciona como resultado el patrón arquitectónico para la definición de ecosistemas de aprendizaje. A pesar de que el patrón se sustenta solo el análisis de diversos ecosistemas tecnológicos reales, es necesario llevar a cabo un proceso de validación. El segundo ciclo de Investigación-

Acción toma como entrada el patrón arquitectónico y proporciona como salida el patrón validado.

A continuación, se plantean las diferentes etapas del proceso: la metodología utilizada para llevar a cabo la validación; el análisis de los procesos de gestión de conocimiento en ecosistemas reales y su comparación con los procesos tras aplicar el patrón; y, por último, se ha aplicado el patrón en varios ecosistemas reales.

4.4.1 Metodología para la validación del patrón

La metodología utilizada para validar el patrón arquitectónico se basa en el análisis de los flujos de trabajo que tienen lugar en instituciones y organizaciones utilizando como base los ecosistemas de aprendizaje.

Los principales problemas de los ecosistemas de aprendizaje identificados en este trabajo se han modelado con BPMN, en español Modelo y Notación de Procesos de Negocio [78], un estándar de OMG que proporciona una notación gráfica para modelar procesos de negocio. Este tipo de procesos se componen de una secuencia de acciones o actividades, cada una de las cuales está formada por invocaciones a servicios de negocio, que utilizan los servicios de integración para proporcionar las funcionalidades de los sistemas a los que proporcionan interoperabilidad.

El proceso de modelado se ha dividido en tres fases. En primer lugar, se han seleccionado y agrupado los problemas relacionados con procesos de gestión del conocimiento similares. Después, cada grupo de problemas se ha analizado para obtener un único diagrama con un alto nivel de abstracción (Figura 33, Figura 34, Figura 35, Figura 36 y Figura 37).

En segundo lugar, se han modelado los mismos procesos de negocio aplicando el patrón arquitectónico con el objetivo de compararlos con los diagramas iniciales y poder verificar si los problemas detectados se resuelven al aplicar el patrón.

Finalmente, el patrón se ha probado en varios casos de estudio reales. Se ha utilizado el patrón arquitectónico como base para definir tres ecosistemas de aprendizaje a lo largo del desarrollo de la presente tesis doctoral. En primer lugar, un ecosistema de aprendizaje para gestionar el conocimiento en la Administración Pública Española [77, 79, 100, 168, 278, 303]. A continuación, se ha utilizado para definir el ecosistema para gestionar el conocimiento científico de un Programa de Doctorado, inicialmente del programa en el que se desarrolla esta investigación y posteriormente en dos

universidades mexicanas [101, 102, 136, 304]. Por último, se ha aplicado el patrón para sustentar el ecosistema tecnológico del proyecto europeo WYRED “netWorked Youth Research for Empowerment in the Digital society”, con el objetivo de gestionar el conocimiento generado por jóvenes de toda Europa en relación a la Sociedad Digital [115, 123-125].

4.4.2 Análisis de los procesos de gestión del conocimiento en ecosistemas tecnológicos reales

El análisis comparativo de las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades de los ecosistemas de aprendizaje seleccionados, junto a la experiencia utilizando y desarrollando *software open source* en diferentes tipos de entidades, ha permitido identificar un conjunto de problemas que rodean a este tipo de soluciones tecnológicas.

Los problemas identificados no son mutuamente excluyentes; varios problemas pueden tener lugar al mismo tiempo en una entidad. Estos problemas se pueden dividir en dos grandes grupos: problemas relacionados con factores externos, como la amplia gama de soluciones *open source* o la participación de otras compañías para definir el ecosistema o para proporcionar herramientas *software* propietarias; y problemas relacionados con factores internos.

El análisis de los procesos de negocio asociados con estos problemas se ha centrado en los relacionados con factores internos, ya que son los que pueden resolverse mediante la mejora del ecosistema de aprendizaje. En concreto se han modelado cinco procesos de negocio mediante diagramas BPMN, de tal forma que cada diagrama representa un conjunto de problemas con el fin de cubrir la mayor parte de ellos. Además, este tipo de diagramas permite describir los procesos con un alto nivel de abstracción [305]. Aunque los procesos de negocio asociados con cada problema son diferentes según la entidad, la Figura 33, la Figura 34, la Figura 35, la Figura 36 y la Figura 37 describen los flujos de trabajo de una manera relativamente simple para abarcar cualquier entidad. Para alcanzar este alto nivel de abstracción, cada escenario específico ha sido evaluado con el apoyo de las partes interesadas pertenecientes a cada contexto.

Compartir el conocimiento es uno de los principales objetivos de cualquier tipo de ecosistema tecnológico y también es uno de los principales problemas. Una conexión incorrecta entre las diferentes herramientas, ya sea a nivel tecnológico o metodológico, causa inconsistencia en los datos y una visión parcial del conocimiento. Los flujos de

conocimiento tienen lugar tanto dentro como fuera de la entidad. Estos procesos se pueden ver modelados en la Figura 33 y la Figura 34.

En primer lugar, la Figura 33 describe un flujo de trabajo que proporciona visibilidad al conocimiento creado dentro de la entidad. Las empresas y las instituciones, generalmente, tienen al menos una plataforma de aprendizaje para proporcionar capacitación y administrar el conocimiento. Los usuarios que utilizan la herramienta de aprendizaje colaboran para analizar casos de estudio, mejorar los flujos de trabajo o debatir temas relacionados con su actividad dentro de la entidad. En algunos casos, el resultado de sus tareas de aprendizaje es la creación o transformación del conocimiento. Normalmente, el conocimiento permanece dentro de la plataforma y solo es accesible para los usuarios que lo generaron, pero a veces este conocimiento debe compartirse fuera de la organización. Para ello, una persona de la entidad con los permisos adecuados debe acceder a la plataforma de aprendizaje y seleccionar los documentos relevantes para publicarlos en un repositorio o una herramienta que haga accesible este tipo de información. Finalmente, esta persona puede proporcionar visibilidad al nuevo documento a través de una herramienta pública tal como un sitio web.

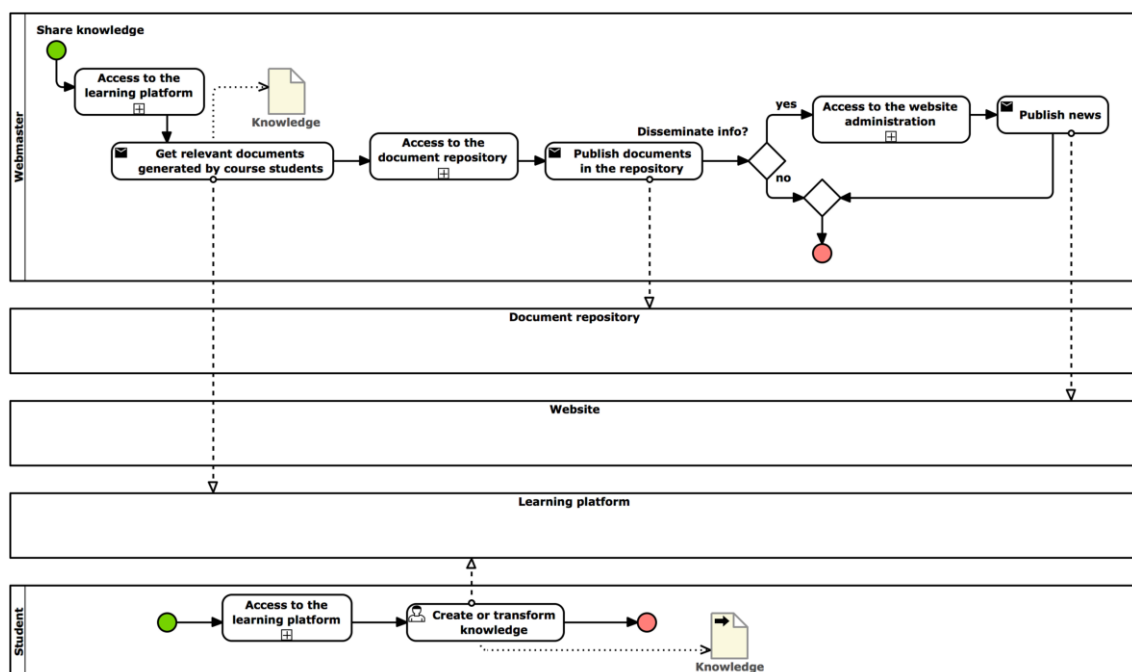


Figura 33. Diagrama BPMN para obtener documentos relevantes generados dentro de la plataforma de aprendizaje. Fuente: Elaboración propia

La plataforma de aprendizaje no es el único lugar donde se genera y gestiona el conocimiento dentro de una institución o una empresa. En la actualidad, la innovación tecnológica y organizativa y, en particular, las posibilidades de Internet, facilitan el

acceso al conocimiento y la formación, que va desde cursos formales hasta el aprendizaje informal *ad-hoc* [306]. Dentro de una empresa o institución, el conocimiento a veces se genera durante los procesos de negocio, por ejemplo, cuando un trabajador de un departamento concreto realiza una tarea regularmente, probablemente mejore el proceso para desarrollar dicha tarea. Cuando se mejora una tarea, el trabajador comparte su conocimiento con sus compañeros cercanos. Más tarde, si alguien de otro departamento realiza la misma tarea, las mejoras relacionadas con la misma no están disponibles o es difícil acceder a ellas; el trabajador debería localizar quién ha realizado la misma tarea con anterioridad y solicitarle información sobre la mejora. En la mayoría de los casos, el conocimiento generado dentro de un departamento no llega a otros y esto es más evidente cuando los departamentos o centros de la entidad están dispersos geográficamente. Aunque el ecosistema tecnológico proporciona herramientas para facilitar la comunicación, el trabajador debe invertir un tiempo considerable para mejorar la tarea y aún más tiempo si decide realizarla sin las mejoras. La Figura 34 muestra el proceso de negocio descrito.

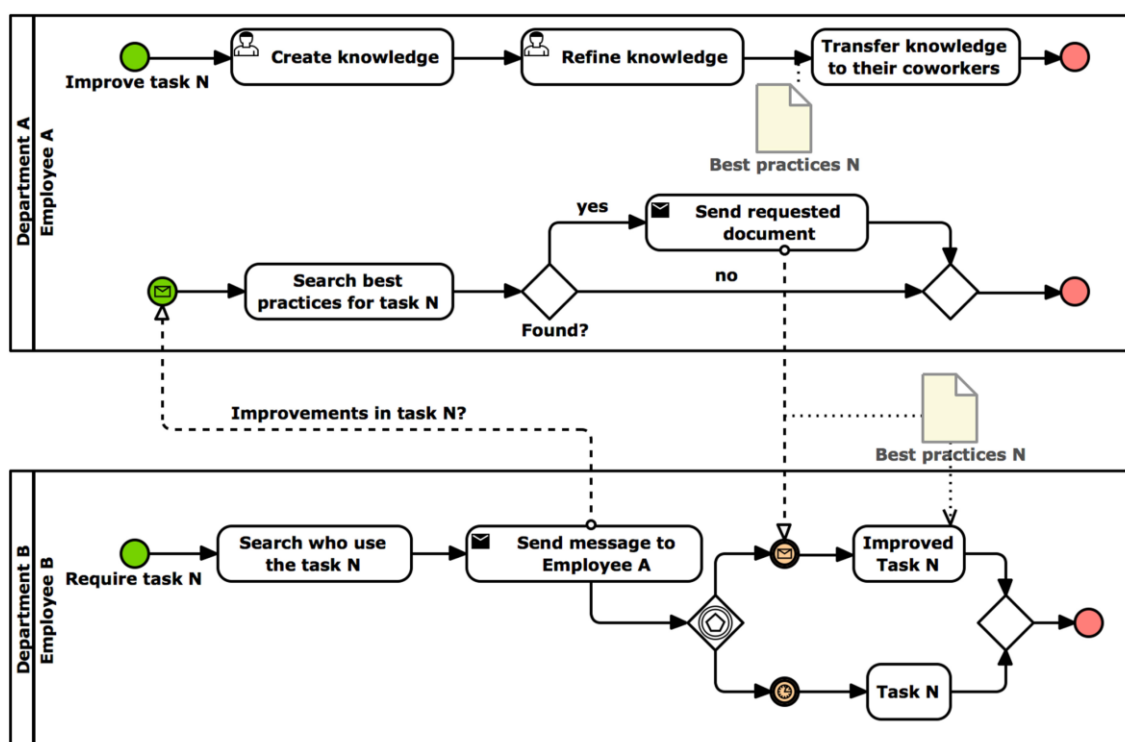


Figura 34. Diagrama BPMN para descubrir conocimiento dentro de una organización. Fuente: Elaboración propia

Los procesos de toma de decisiones son una de las principales necesidades de cualquier tipo de entidad junto con la gestión del conocimiento. Los sistemas de información y los ecosistemas tecnológicos, como una evolución de los primeros, deberían brindar

apoyo a estos procesos. Los flujos de información del ecosistema pueden proporcionar información relevante a los gerentes de una entidad para mejorar sus procesos internos y externos. Estas decisiones tienen una influencia directa en la definición y evolución de los ecosistemas tecnológicos que respaldan la gestión del conocimiento.

Los ecosistemas de aprendizaje analizados han permitido identificar el problema relacionado con el análisis de los flujos de información que tienen lugar tanto dentro como fuera del ecosistema. Aunque los componentes de los ecosistemas pueden incluir un conjunto de funcionalidad para obtener datos estadísticos, el acceso a esta información no suele estar al alcance de las personas a cargo de la toma de decisiones.

La Figura 35 muestra un ejemplo del proceso de toma de decisiones orientado a definir el programa de formación para los trabajadores de una entidad. La gestión del conocimiento dentro de la entidad proporciona información relevante para el etiquetado, la comprensión y el reconocimiento de las necesidades de formación [307]. El gerente obtiene y analiza los recursos relacionados con la formación de los trabajadores. Los recursos son documentos de iniciativas formativas previas, encuestas de la plataforma de aprendizaje y programas de formación anteriores. El problema es que la persona encargada de la toma de decisiones no suele disponer de una visión global de la gestión del conocimiento dentro de su institución o empresa.

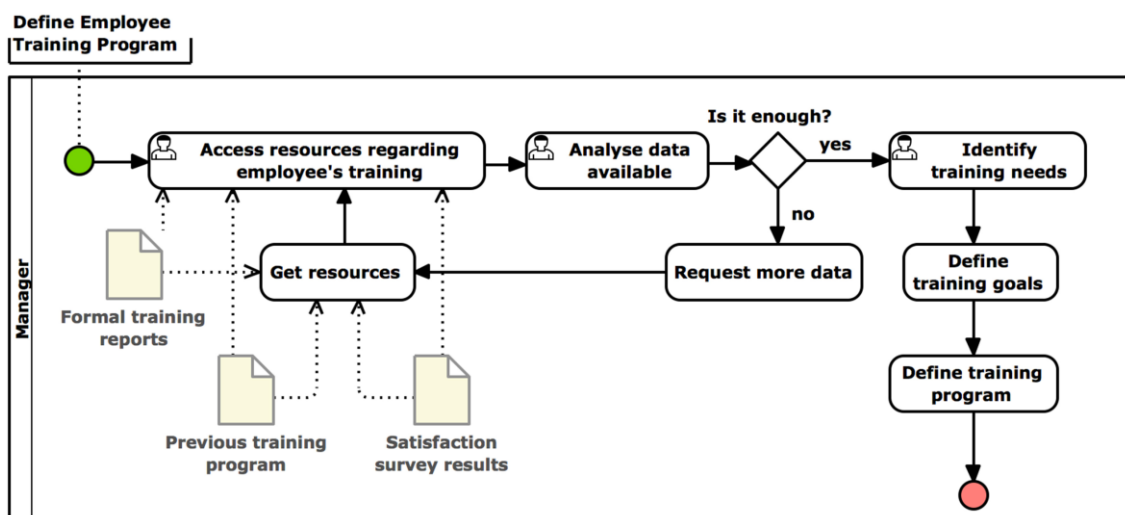


Figura 35. Diagrama BPMN para el proceso de toma de decisiones. Fuente: Elaboración propia

Otros problemas importantes detectados durante el análisis están relacionados con la usabilidad del sistema. Cada herramienta que forma parte del ecosistema a menudo tiene su propio sistema de gestión de usuarios, por tanto, los usuarios deben administrar sus perfiles en cada uno de los componentes del ecosistema. Además, cada

herramienta proporciona acceso independiente al ecosistema, por lo que el usuario realiza el proceso de autenticación muchas veces. Este problema se incrementa cuando aumenta el número de componentes *software* que forman parte del ecosistema tecnológico. Ciertamente, el usuario no trabaja con todos los componentes del ecosistema, pero es común que interactúe con más de un componente. La Figura 36 muestra el proceso de autenticación cuando el ecosistema tecnológico tiene solo tres componentes: un sitio web, un repositorio de documentos y una plataforma de aprendizaje.

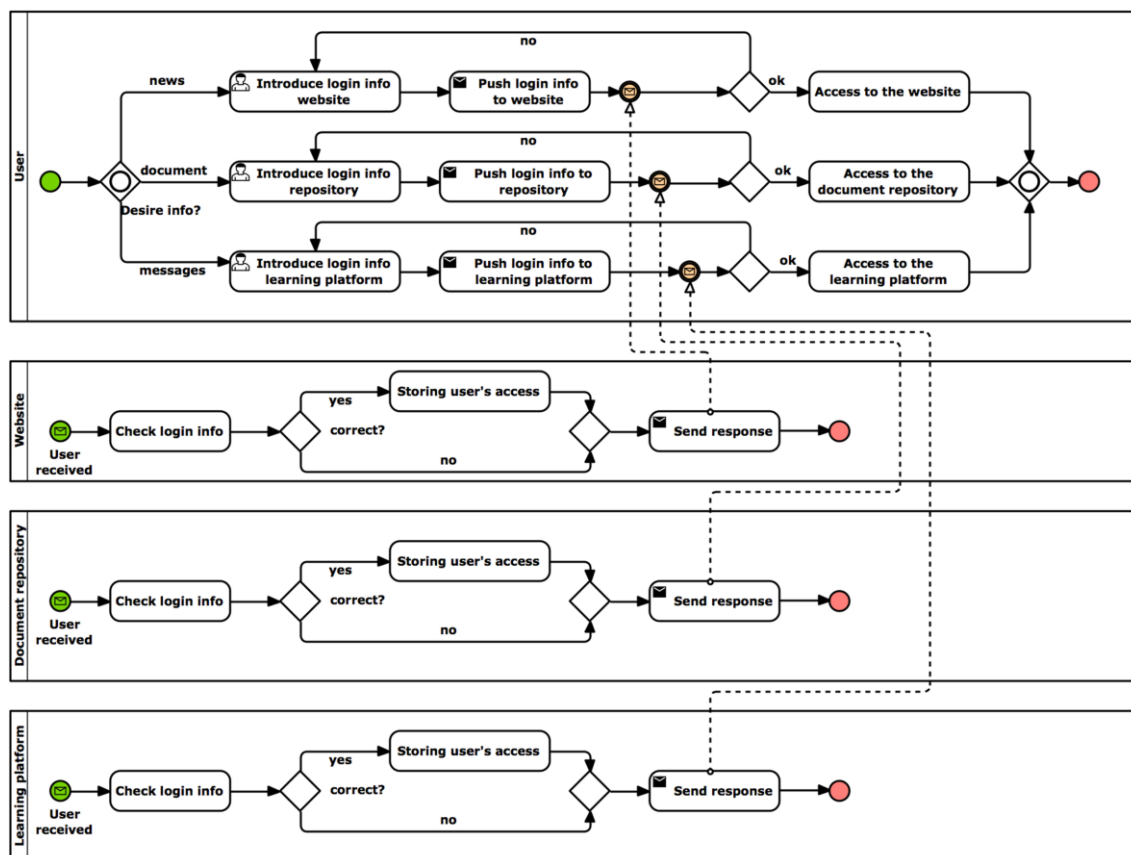


Figura 36. Diagrama BPMN para la autenticación de usuarios. Fuente: Elaboración propia

Finalmente, uno de los problemas más importantes relacionados con el desarrollo y mantenimiento de los ecosistemas tecnológicos, en particular de los ecosistemas de aprendizaje, es la componente evolutiva. Previamente, se han descrito cuatro mecanismos para la evolución de un ecosistema, cada uno de dichos mecanismos implica procesos de negocio de gran complejidad.

La Figura 37 describe uno de los mecanismos de evolución: el proceso de reemplazar un componente *software* del ecosistema. Para simplificar este proceso se excluyen las tareas relacionadas con la ingeniería y el desarrollo *software*. Las dependencias entre

los componentes incluyen los niveles de integración de datos, de lógica de negocio y de presentación. Estas dependencias suponen una barrera adicional para la evolución del ecosistema. Se deben cumplir varias condiciones para evitar la cancelación del proceso y en ocasiones es necesario actualizar o eliminar la conexión con otros componentes del ecosistema.

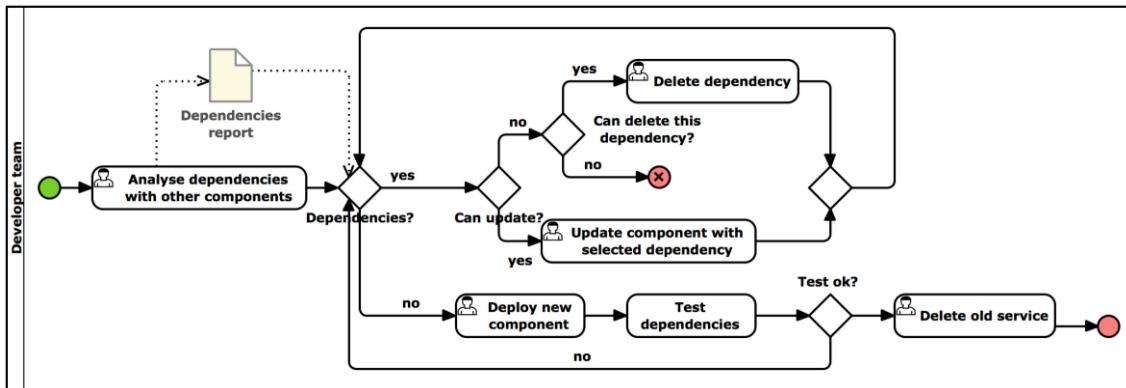


Figura 37. Diagrama BPMN para cambiar un componente del ecosistema. Fuente: Elaboración propia

4.4.3 Aplicación del patrón a los procesos de gestión del conocimiento

Una vez se han modelado los procesos de gestión del conocimiento relacionados con los principales problemas de los ecosistemas de aprendizaje, se ha aplicado el patrón arquitectónico a cada uno de los procesos de negocio descritos en la sección anterior, de tal forma que se han obtenido cinco diagramas BPMN que modelan los mismos procesos, pero teniendo en cuenta las soluciones planteadas por el patrón. El objetivo principal es poder comparar ambos diagramas y verificar que el patrón mejora la definición de este tipo de soluciones tecnológicas.

La definición del patrón se inicia con la capa de infraestructura y finaliza con la capa de presentación. La aplicación del patrón en los diferentes procesos de negocio se ha realizado en ese orden, de tal forma que en primer lugar se tratan los problemas abordados en las capas inferiores del patrón.

Uno de los principales problemas detectados durante el análisis es la descentralización de la gestión de usuarios (Figura 36). El patrón arquitectónico plantea la incorporación de uno o varios componentes que se encarguen de centralizar el proceso de autenticación y la administración de datos de los usuarios, de tal forma que proceso de negocio asociado al acceso de los usuarios al ecosistema se simplifica (Figura 38). Las principales diferencias entre ambos diagramas no residen en el conjunto de actividades o eventos, sino en la eliminación de varios carriles asociados a cada uno de los

componentes del ecosistema y la simplificación de los flujos en el carril correspondiente al usuario, debido a que no tendrá varias formas para acceder al ecosistema.

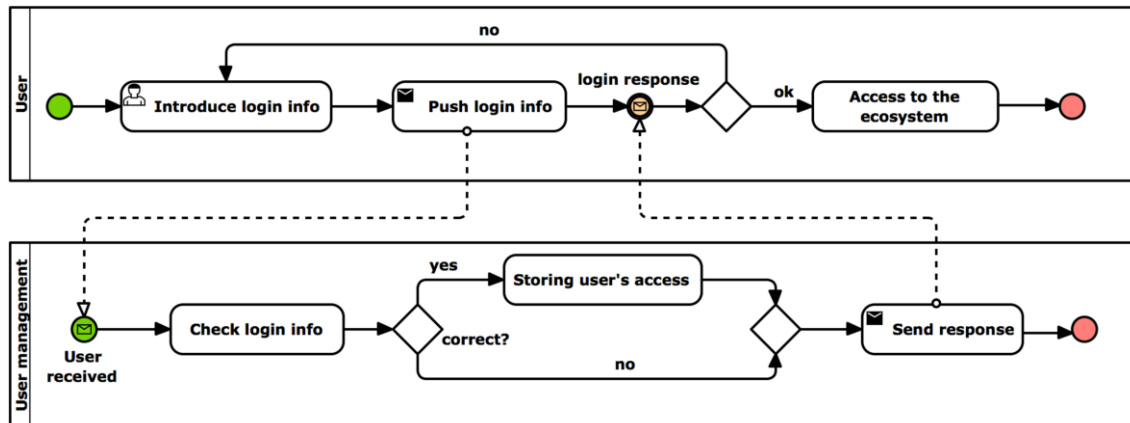


Figura 38. Diagrama BPMN para el proceso de autenticación aplicando el patrón arquitectónico. Fuente: Elaboración propia

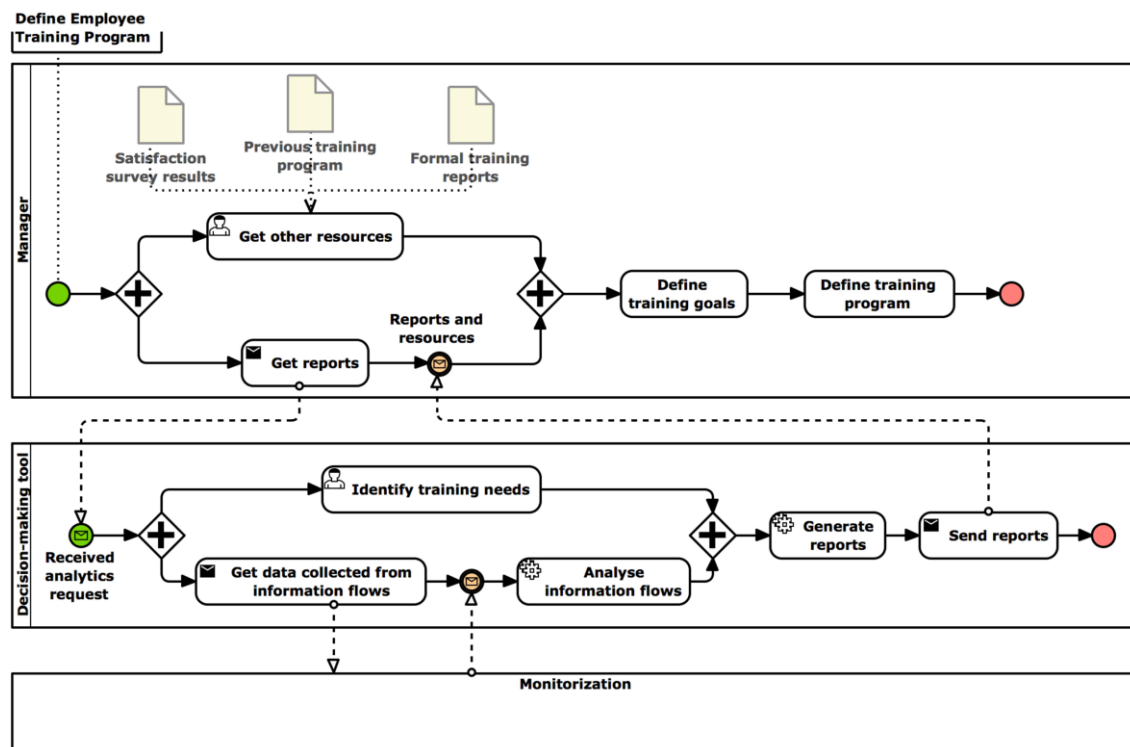


Figura 39. Diagrama BPMN para la toma de decisiones aplicando el patrón arquitectónico. Fuente: Elaboración propia

La mejora de los procesos de toma de decisiones es una parte importante de los ecosistemas tecnológicos. Los flujos de información que respaldan la interacción entre los componentes dentro del ecosistema pueden proporcionar información valiosa, motivo por el que el patrón arquitectónico incorpora dos componentes para dar soporte a la toma de decisiones, uno en la infraestructura para monitorizar los flujos de información y uno en la capa de servicios para analizar dichos flujos. El diagrama de la

Figura 39 modela el proceso de negocio relacionado con la toma de decisiones incorporando los componentes mencionado. Las principales diferencias respecto al diagrama de la Figura 35 se centran en los resultados obtenidos y la mejora del proceso en sí mismo, no en obtener un diagrama BPMN más simple, sino en poder proporcionar una visión global de la gestión del conocimiento en el ecosistema. La puerta lógica que genera un bucle para obtener más información por parte del usuario se sustituye por dos carriles que representa a las herramientas de toma de decisiones y de monitorización.

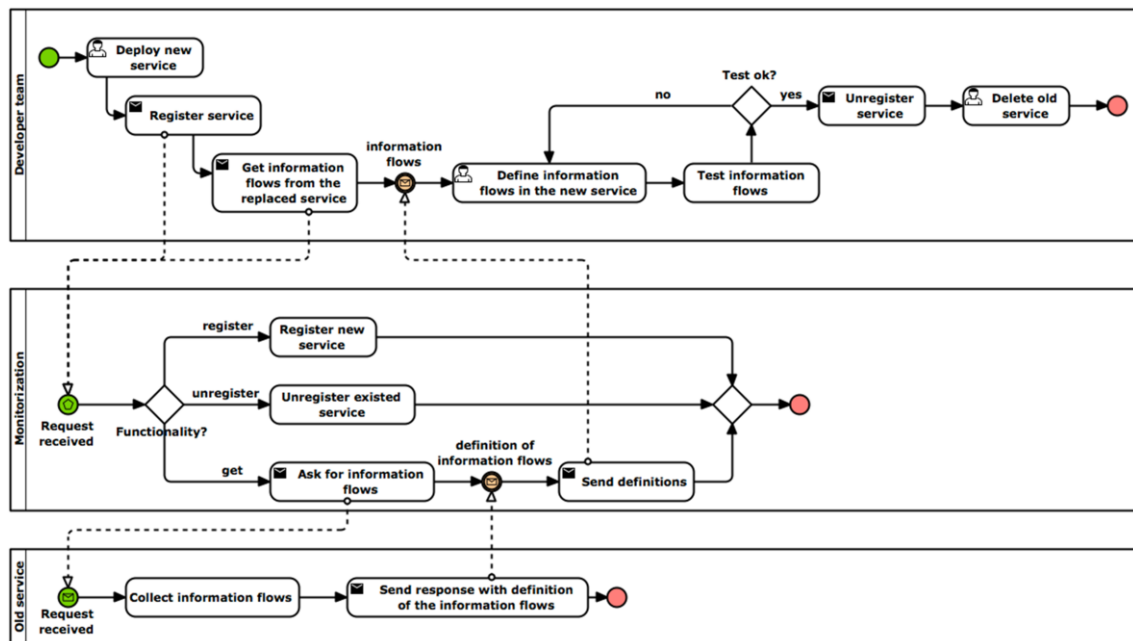


Figura 40. Diagrama BPMN para reemplazar un componente del ecosistema aplicando el patrón arquitectónico. Fuente: Elaboración propia

El componente de monitorización del patrón arquitectónico también desempeña un papel importante en los procesos de negocio relacionados con la evolución del ecosistema. En la Figura 37 se modela como el reemplazo de un componente del ecosistema implica un conjunto de decisiones por parte del equipo de desarrollo, pero no existe un soporte tecnológico que facilite el proceso. En la Figura 40, tras aplicar el patrón arquitectónico, se puede observar como el componente de monitorización juega el rol de Mediador [297] entre el equipo de desarrollo y el servicio que se reemplazará. El equipo de desarrollado debe implementar el nuevo componente y registrarlo en la herramienta de monitorización. Después debe establecer los flujos de información con el nuevo componente. Los detalles con respecto a los flujos son provistos por el Mediador. Finalmente, el equipo de desarrollo anula el registro y elimina el servicio anterior.

Por último, los problemas directamente relacionados con la gestión del conocimiento, tanto en los procesos internos de la empresa o institución, como en la visibilidad de parte del conocimiento hacía fuera de la entidad. La gestión del conocimiento es uno de los principales objetivos de los ecosistemas de aprendizaje y, por tanto, el patrón arquitectónico plantea ciertas mejoras.

En primer lugar, en relación a los procesos relacionados con compartir y descubrir conocimiento dentro de la propia empresa o institución, la capa de gestión de datos estáticos llevada a la práctica mediante un repositorio o gestor documental permite facilitar la tarea a los usuarios del ecosistema. La diferencia entre la Figura 34 y la Figura 41 radica en el uso del repositorio como intermediario para compartir conocimiento. El proceso de negocio modelado muestra como una buena práctica generada en un departamento es compartida en el repositorio. El resto de los usuarios del ecosistema tienen acceso al repositorio por lo que únicamente deben realizar una búsqueda en el mismo para encontrar la forma de mejorar sus propios procesos. Se debe tener en cuenta que el repositorio es un mecanismo para mejorar este proceso de negocio, pero el éxito final radicará en una buena herramienta de búsqueda y una buena definición de los metadatos en los contenidos compartidos en el repositorio.

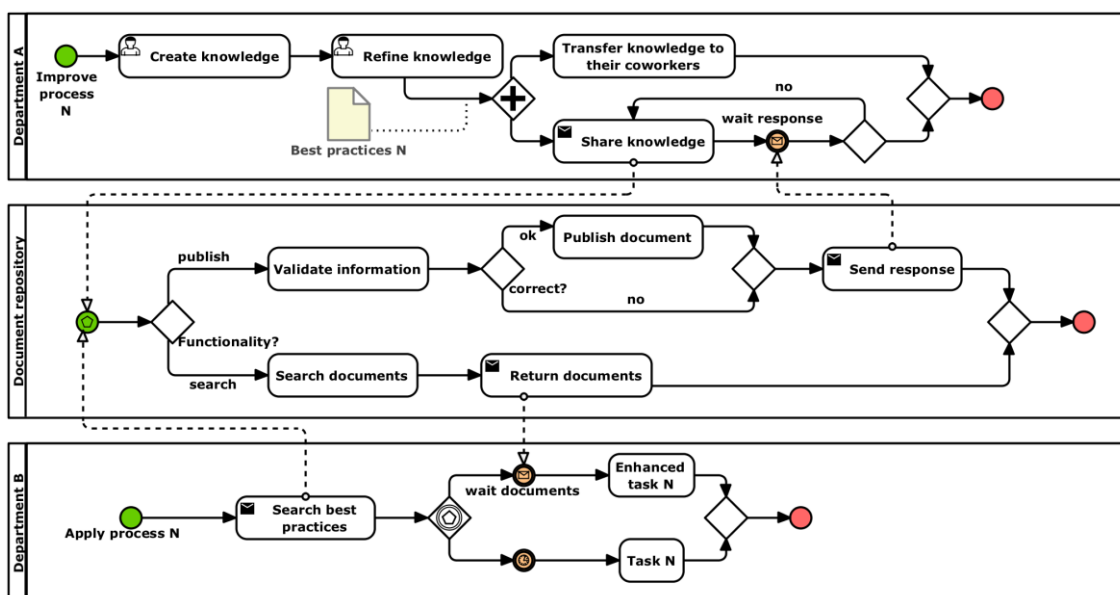


Figura 41. Diagrama BPMN para compartir y descubrir conocimiento dentro del ecosistema aplicando el patrón arquitectónico. Fuente: Elaboración propia

Finalmente, el patrón arquitectónico aborda la visibilidad del conocimiento creado dentro de la entidad de diversas formas. Si se toma de referencia el proceso de negocio modelado en la Figura 33, los flujos de información y la capa de gestión de datos

estáticos facilitan la visibilidad del conocimiento generado dentro de cualquiera de los componentes del ecosistema de aprendizaje. En la Figura 42 se puede observar cómo la posibilidad de compartir el conocimiento en el repositorio facilita luego su publicación en otros componentes del ecosistema, por ejemplo, la web o portal público de la empresa o institución. Así mismo, el patrón arquitectónico incorpora una serie de componentes que representan servicios 2.0, de tal forma que estos se pueden conectar al portal o al repositorio para que el conocimiento se comparta de forma automática en las diferentes redes sociales externas al ecosistema.

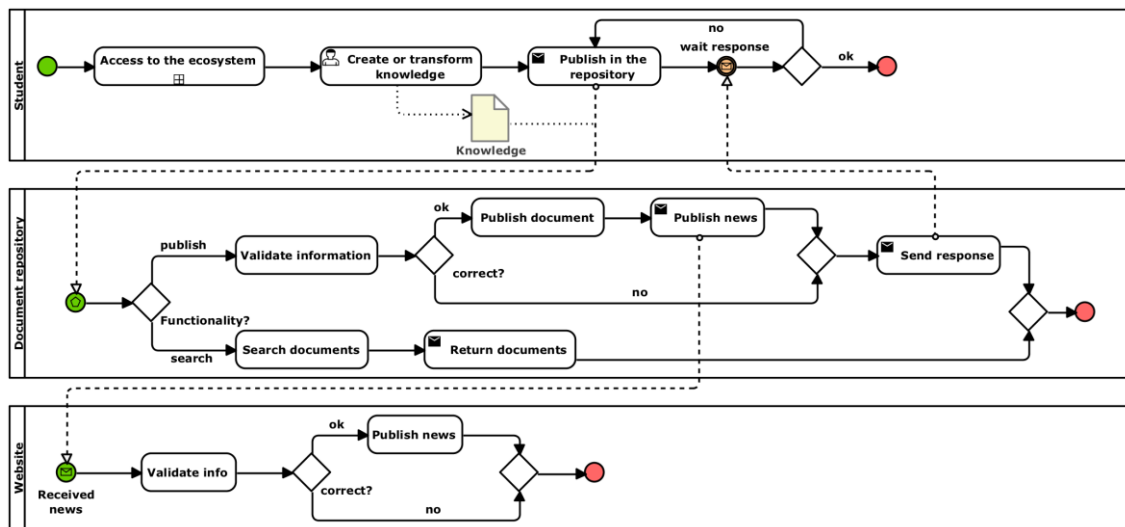


Figura 42. Diagrama BPMN para darle visibilidad al conocimiento aplicando el patrón arquitectónico. Fuente: Elaboración propia

En los procesos de negocio analizados, todos ellos relacionados con problemas detectados previamente en los ecosistemas de aprendizaje, se puede observar que el patrón arquitectónico soluciona o limita los problemas, aunque no siempre implique una simplificación del proceso de negocio.

4.4.4 Aplicación del patrón validado en casos reales

La última parte de la validación del patrón arquitectónico se ha centrado en probarlo en varios casos de estudio reales. Concretamente, el patrón se ha utilizado para definir tres ecosistemas de aprendizaje en cuya definición y desarrollo se ha participado como parte de la presente tesis doctoral.

Tabla 16. Cronograma de los ecosistemas de aprendizaje implementados. Fuente: Elaboración propia

	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1. Ecosistema del INAP						

2. Ecosistema del doctorado					
3. Ecosistema WYRED					

En la Tabla 16 se indica el periodo de tiempo en el que se ha estado involucrada en la definición y desarrollo de cada uno de los ecosistemas de aprendizaje descritos a continuación.

4.4.4.1 Ecosistema para la gestión del conocimiento en la Administración Pública

El primer caso de estudio se desarrolla en el Instituto Nacional de la Administración Pública (INAP), un organismo autónomo adscrito al Ministerio de Política Territorial y Función Pública del Gobierno de España (anteriormente denominado Ministerio de Hacienda y Función Pública), a través de la Secretaría de Estado de Función Pública. El Instituto posee gran experiencia en la gestión del conocimiento dentro de la Administración Pública Española. Entre sus principales actividades se encuentran: la formación de los empleados públicos; la selección de varios Cuerpos y Escalas de empleados públicos adscritos al Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas; y la promoción de la investigación y los estudios sobre el gobierno y los diferentes niveles de la Administración Pública desde una perspectiva interdisciplinar.

El Plan Estratégico General del INAP 2012-2015 incluye entre sus objetivos la definición e implementación de una solución tecnológica basada en *software open source* para generar conocimiento mediante la colaboración entre los empleados de los diferentes organismos públicos. Bajo este objetivo, desde 2012, el INAP ha trabajado en la definición e implementación de un ecosistema tecnológico que proporciona el soporte necesario para la gestión del conocimiento generado dentro de la Administración Pública [100].

Para el desarrollo del ecosistema, diferentes equipos han analizado los principales objetivos de gestión del conocimiento del Instituto y la metodología para garantizar la evolución y la sostenibilidad del ecosistema. Tras este proceso inicial relacionado como parte de la elicitación de requisitos del propio ecosistema, se ha definido la arquitectura a partir del patrón arquitectónico, lo que ha permitido sentar las bases para desarrollar nuevos componentes que cubran las necesidades identificadas, así como integrar

componentes que ya formaban parte de los flujos de trabajo del organismo y que contaban con gran aceptación entre sus usuarios.

Los principales objetivos que persigue el ecosistema de aprendizaje del INAP son:

- Crear un espacio accesible desde cualquier organización pública sin comprometer la seguridad de la información.
- Proporcionar procedimientos y herramientas con las cuales el usuario pueda publicar parte del conocimiento generado para hacer cumplir la ley de transparencia que permite el acceso público a la información del gobierno [308].
- Apoyar la integración con otras herramientas existentes para lograr que todas las instituciones y organismos sean parte del proyecto y colaboren en su evolución.
- Proporcionar al usuario información sobre otros usuarios con intereses similares, promoviendo el aprendizaje social y la colaboración entre los usuarios del sistema.
- Facilitar la toma de decisiones y el análisis de los flujos de información para poder mejorar el sistema y adaptarlo a las necesidades de la Administración Pública.
- Establecer los flujos de información y los mecanismos para apoyar las cuatro etapas del ciclo de vida del conocimiento dentro de la Administración Pública española: Socialización, Externalización, Combinación, Internalización [144, 160].

El ecosistema tecnológico del Instituto se plantea como una evolución de sus sistemas de información previos. El Instituto ya disponía de algunas herramientas para la gestión del conocimiento, tanto interno como externo, que se han integrado en la arquitectura del ecosistema tecnológico.

La arquitectura planteada se divide en tres capas: infraestructura, gestión de datos estáticos y servicios (Figura 43). Respecto a la cuarta capa del patrón arquitectónico, presentación, se ha mantenido la identidad corporativa a nivel de presentación, pero no se ha logrado una unicidad que muestre el ecosistema como un todo.

En primer lugar, los componentes principales de la capa de infraestructura son los siguientes: el servidor de correo basado en Microsoft Exchange (<http://office.microsoft.com/exchange>), se trata del único *software* utilizado que no es

open source, se ha tenido que mantener debido a los requisitos de funcionamiento interno de la propia Administración Pública; el servidor de indexación basado en Apache Solr (<http://lucene.apache.org/solr/>), que tiene como objetivo mejorar significativamente los resultados de búsqueda de diferentes servicios ofrecidos por el ecosistema; y la gestión centralizada de la administración de usuarios y la autenticación proporcionada por la combinación de OpenLDAP (<http://www.openldap.org>) y Apereo CAS (*Central Authentication Service*) (<https://www.apereo.org/projects/cas>) [309]. La herramienta de monitorización no está incluida en la definición y desarrollo de este ecosistema de aprendizaje, aunque sí se ha incorporado al ecosistema después de finalizar el trabajo relacionado con la presente investigación.

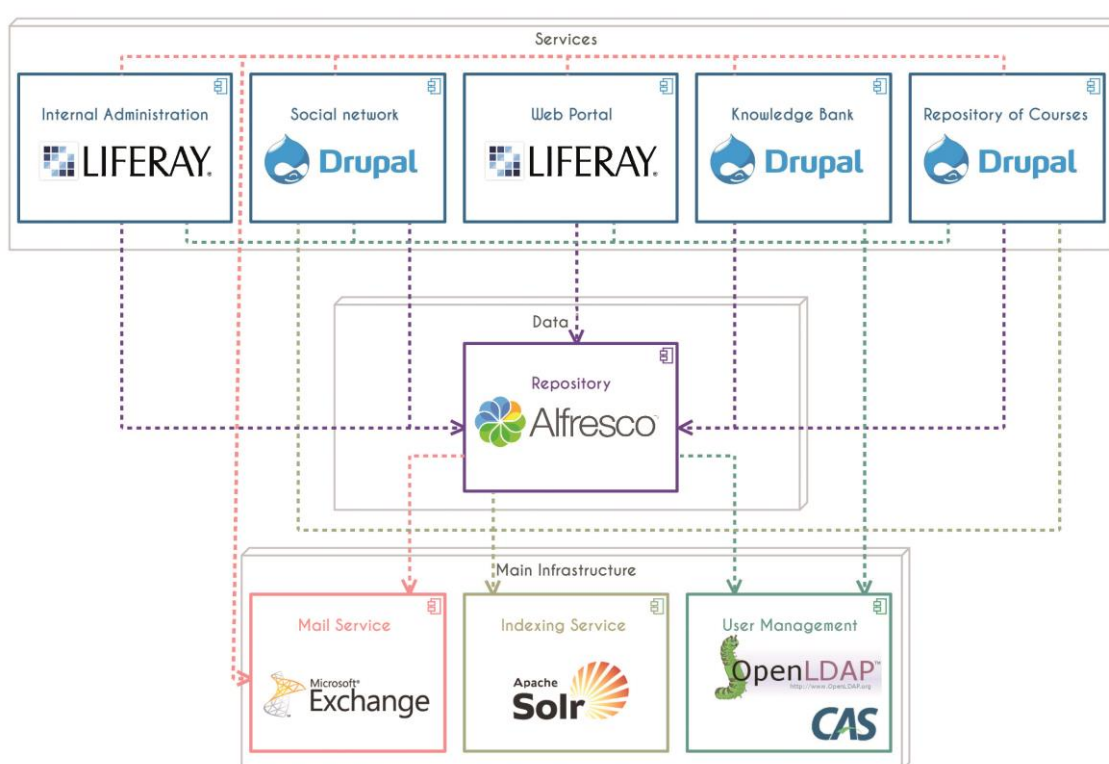


Figura 43. Arquitectura del ecosistema del INAP. Fuente: Elaboración propia

La segunda capa encapsula la administración de la información que se comparte entre los diferentes servicios del ecosistema. Cada servicio o aplicación maneja su propia información, pero existe cierto tipo de información, como documentos o recursos multimedia, que se pueden compartir y usar en diferentes componentes al mismo tiempo. Esta capa contiene el sistema de gestión de documentos basado en Alfresco (<https://www.alfresco.com>), cuya funcionalidad se ha extendido a través de la definición de un conjunto de servicios web que proporcionan una interfaz a otros componentes para que puedan interactuar con el repositorio.

Finalmente, la capa de servicios actualmente contiene cinco componentes. La Red Social para empleados públicos brinda un espacio restringido basado en comunidades de prácticas, cuyo objetivo principal es conectar usuarios con intereses similares y generar conocimiento a partir de la interacción entre ellos. El acceso a la Red Social está abierto a todos los trabajadores de la Administración Pública, independientemente de la institución u organismo al que pertenezcan, por lo que esta parte del ecosistema se convierte en el principal punto de entrada para las personas que desean colaborar y beneficiarse de las oportunidades que ofrece una correcta gestión del conocimiento. El conocimiento generado en la Red Social se revierte a otros servicios del ecosistema, en concreto al Banco de Conocimiento. Ambos componentes, basados en Drupal (<https://www.drupal.org>), están conectados indirectamente a través de la capa de gestión de datos estática, por lo que existe una independencia completa a nivel de servicio.

El sistema de gestión interna y el portal de información pública se basan en Liferay (<https://www.liferay.com>). En quinto y último lugar, el repositorio de cursos proporciona una forma clara de centralizar la gestión de la formación y los contenidos utilizados por las instituciones, escuelas y organismos públicos de diferentes regiones españolas. El acceso a este repositorio está restringido a unos pocos empleados públicos dedicados a coordinar o implementar la capacitación en los diferentes organismos públicos. Esto se debe a la necesidad de respetar los derechos de los materiales publicados, a pesar de que todos los elementos publicados en el repositorio deben estar protegidos bajo una licencia *Creative Commons*.

La interacción entre las diferentes capas de la arquitectura se realiza mediante flujos de información entre los componentes, siempre establecidos entre componentes de la misma capa o de capas inferiores, nunca hacia componentes superiores, de tal forma que las dependencias se establecen de arriba abajo. En la Figura 43 se pueden observar los principales flujos de información.

Respecto al factor humano como parte del ecosistema de aprendizaje, es decir, los dos flujos de entrada definidos en el patrón arquitectónico, el ecosistema del INAP cuenta con una sólida base metodológica y una fuerte componente de gestión sobre las cuales se sustenta el éxito del ecosistema, el cual se mantiene en funcionamiento y evolución desde 2013 hasta la fecha de elaboración del presente documento.

4.4.4.2 Ecosistema para la gestión del conocimiento en un Programa de Doctorado

El segundo caso de estudio se desarrolla inicialmente en el Programa de Doctorado Formación en la Sociedad del Conocimiento de la Universidad de Salamanca (<http://usal.es/webusal/node/30026>) [101, 102, 304].

Este Programa de Doctorado nace en el Instituto Universitario de Ciencias de la Educación (IUCE – <https://iuce.usal.es>), según el Real Decreto 99/2011 [310]. El principal objetivo de este Programa es presentar los procesos de enseñanza-aprendizaje como auténticos motores de la denominada Sociedad del Conocimiento, para poder disertar y generar nuevo conocimiento en esta línea y bajo una simbiosis con los avances tecnológicos más punteros [102].

Se trata de un Programa con un enfoque interdisciplinar, soportado principalmente por un conjunto de Grupos de Investigación Reconocidos (GIR) por la Universidad de Salamanca. En concreto, GRIAL (<http://grial.usal.es>), OCA (<http://campus.usal.es/~oca>), VISUALMED (<http://visualmed.usal.es>), Robotics and Society Group (<http://gro.usal.es>) y E-LECTRA (<http://electra.usal.es>). Conjuntamente con estos grupos, el enfoque interdisciplinar y multicultural se completa con investigadores individuales que provienen de diferentes ámbitos disciplinares – Ciencias Sociales (Educación, Comunicación, Información y Documentación), Ingeniería y Ciencias de la Salud (Medicina) – y trabajan en líneas de investigación relacionadas con los tópicos del Programa. Además, el Programa cuenta con la colaboración de investigadores procedentes de otras instituciones nacionales e internacionales.

Las líneas de investigación que abarca el Programa de Doctorado, siempre en relación con la Formación en la Sociedad del Conocimiento, son las siguientes:

- Evaluación Educativa y Orientación.
- Interacción y *eLearning*.
- Investigación-Innovación en Tecnología Educativa.
- Medios de Comunicación y Educación.
- Medicina y Educación.
- Robótica educativa.
- Ingeniería y Educación.

- Educación y Sociedad de la Información.

El principal objetivo del ecosistema tecnológico implementado en el Programa de Doctorado es proporcionar los mecanismos necesarios para dar soporte a los procesos de gestión del conocimiento científico, generación (creación y adquisición), codificación (almacenamiento), transferencia (intercambio) y aplicación [159], con especial énfasis en la transferencia [159] o distribución [162] y en la generación o creación. Este objetivo da lugar a un conjunto de sub-objetivos que el ecosistema debe alcanzar:

- Dar soporte a la gestión interna del Programa de Doctorado.
- Permitir el seguimiento de los doctorandos matriculados en el Programa de Doctorado, de tal forma que se mantenga un *portfolio* actualizado de sus avances a lo largo de desarrollo de la tesis doctoral.
- Proporcionar visibilidad a todo el conocimiento que generan los estudiantes de doctorado como parte de su proceso de formación como investigadores.
- Servir de canal de comunicación para transmitir información de interés a los miembros del Programa de Doctorado.
- Dar soporte a los procesos de calidad del Programa de Doctorado.

La definición y desarrollo del ecosistema de aprendizaje se lleva a cabo durante el primer curso académico de vigencia del Programa de Doctorado y se ha mantenido en continua evolución hasta la actualidad. La arquitectura del ecosistema se sustenta sobre el patrón arquitectónico definido en la presente investigación (Figura 44).

Las cuatro capas del patrón arquitectónico están presentes en este ecosistema. En primer lugar, la capa de infraestructura tiene dos componentes, el servidor de correo basado en *Postfix* durante los primeros años y, posteriormente, sustituido por Gmail, debido a la integración con Google Apps en la Universidad de Salamanca, y la herramienta de administración de usuarios basada en Drupal (<https://www.drupal.org>). A pesar de que la Universidad tiene un sistema de gestión de usuarios centralizado, el acceso al ecosistema de doctorado está restringido únicamente a los estudiantes del Programa, por lo que integración en el ecosistema de la Universidad no es posible.

La capa de datos se sustenta sobre el repositorio institucional de la Universidad de Salamanca, GREDOS (<https://gredos.usal.es>), donde se comparte públicamente parte del conocimiento científico generado por los doctorandos del Programa.

Concretamente, todos los planes de investigación y todas las tesis doctorales se encuentran publicadas en este repositorio.

La tercera capa está compuesta por varios servicios: un conjunto de herramientas sociales centradas en la difusión del conocimiento científico, en particular, un perfil de SlideShare para compartir presentaciones y documentos visuales (<http://bit.ly/2IFaoYi>); un perfil de YouTube para compartir videos producidos durante seminarios o conferencias (<http://bit.ly/2tTcChf>); una herramienta para gestionar listas de correo y poder enviar mensajes masivos a los miembros del Programa, Mailchimp (<https://mailchimp.com>); y un portal centrado en el usuario que proporciona la mayoría de las características requeridas por la lógica de negocio (<https://knowledgesociety.usal.es>).

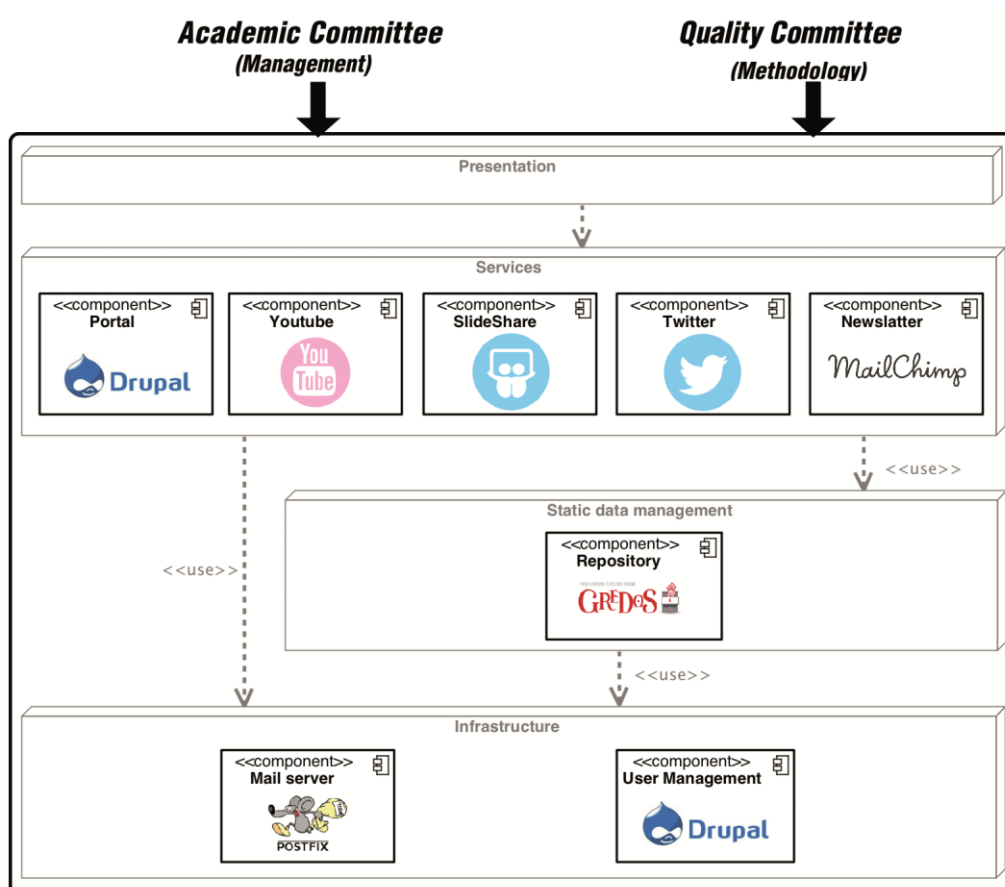


Figura 44. Arquitectura del ecosistema del Programa de Doctorado Formación en la Sociedad del Conocimiento. Fuente: Elaboración propia

Respecto a la capa de presentación, se centra en mantener la identidad corporativa del Programa de Doctorado, por lo que cada elemento de las capas de servicios tiene el mismo diseño para mostrar el ecosistema como un todo. Se logra unicidad debido a que gran parte de los servicios de este ecosistema son externos, por lo que las herramientas

con las que siempre interactúan los miembros del Programa mantienen correctamente la identidad del mismo.

Finalmente, los comités del Programa de Doctorado representan los dos flujos de entrada del patrón arquitectónico, es decir, el factor humano que forma parte inherente del ecosistema de aprendizaje. Por un lado, la Comisión Académica está a cargo de la gestión del ecosistema. En cuanto a la metodología, existe una comisión responsable de la evaluación y seguimiento del Programa de Doctorado para garantizar la calidad del Programa y del ecosistema tecnológico, la Comisión de Calidad.

Con el fin de validar la importancia de los flujos de entrada representados por las comisiones mencionadas, el ecosistema de aprendizaje del Programa de Doctorado Formación en la Sociedad del Conocimiento se ha transferido a otros dos contextos, en particular a dos universidades mexicanas. En primer lugar, el ecosistema se ha implantado en el Tecnológico de Monterrey (México) para dar soporte a la gestión del conocimiento científico en un Programa de Doctorado, concretamente el Doctorado en Innovación Educativa coordinado por la Escuela de Humanidades y Educación. La Figura 45 (b) muestra la arquitectura del ecosistema de aprendizaje transferido al Tecnológico de Monterrey. La arquitectura se ha adaptado al nuevo contexto. La mayoría de las herramientas sociales se han eliminado, el repositorio se ha cambiado, aunque ambos se basan en la misma herramienta de código abierto, DSpace, y el servidor de correo se ha reemplazado por el servidor de correo proporcionado por la institución. Además, el flujo de entrada relacionado con la metodología no está presente en este contexto.

Por otro lado, el ecosistema se ha transferido al Centro de Investigaciones en Comportamiento Alimentario y Nutrición (CICAN) de la Universidad de Guadalajara (México). El objetivo principal del ecosistema es apoyar la gestión del conocimiento científico tanto en el Centro de Investigación como en los estudios de *postgrado*, el Máster y el Doctorado en Ciencia del Comportamiento con orientación en Alimentación y Nutrición [311]. El conocimiento adquirido durante la primera transferencia al contexto mexicano se ha aplicado en este nuevo contexto. Las principales diferencias con respecto al primer ecosistema residen en que hay tres portales diferentes conectados entre sí en lugar de un único portal, además se ha incluido una nueva herramienta para proporcionar blogs institucionales. En cuanto al factor humano, este ecosistema tampoco tiene la corriente de entrada de la

metodología. La Figura 45 (c) muestra la arquitectura resultante después de la transferencia a este contexto.

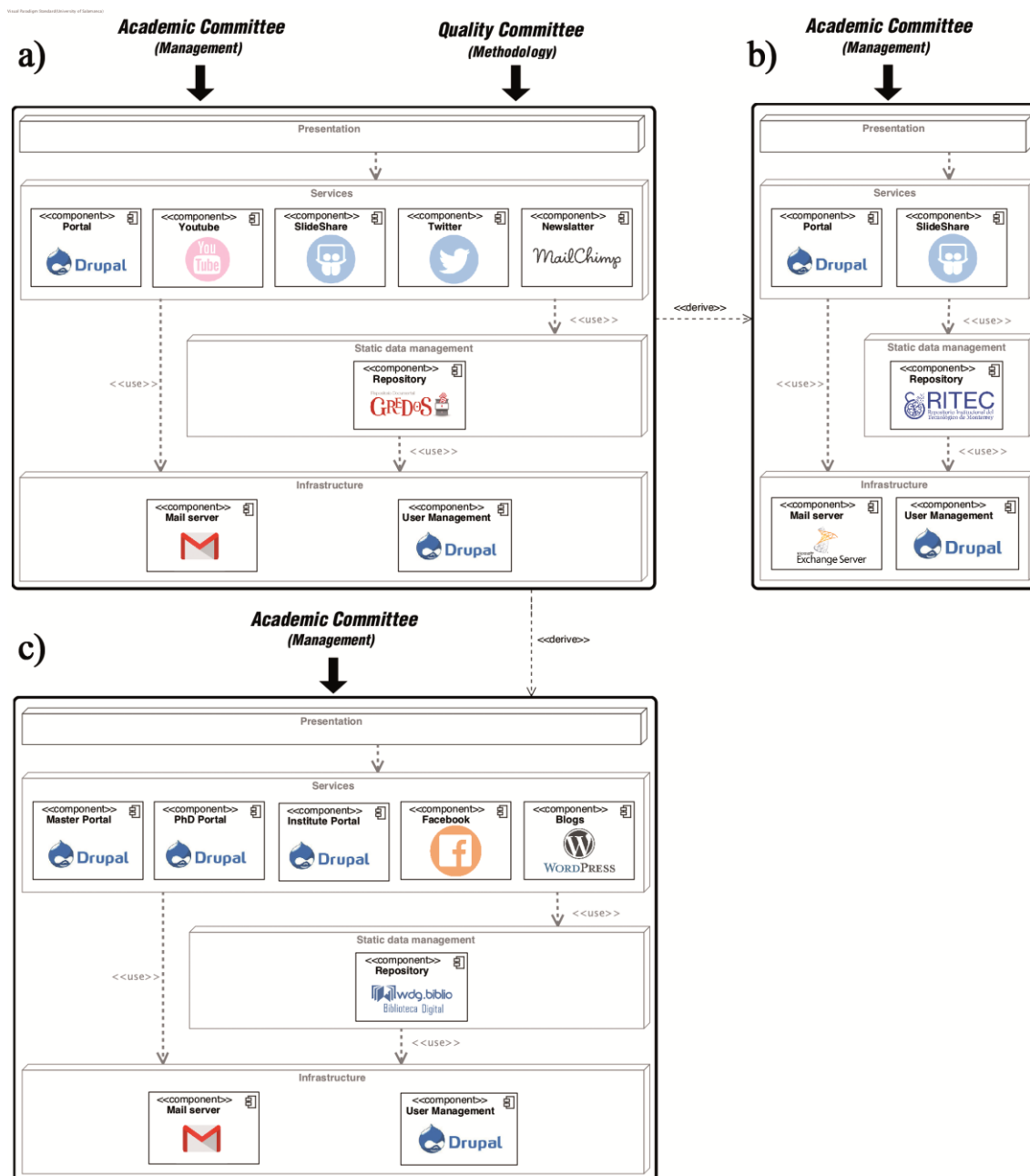


Figura 45. Evolución de la arquitectura del ecosistema de aprendizaje para programas de doctorado. a) Programa de doctorado Formación en la Sociedad del Conocimiento de la Universidad de Salamanca. b) Programa de doctorado en Innovación Educativa del Tecnológico de Monterrey (México). c) Máster y Programa de Doctorado en Ciencia del Comportamiento con orientación en Alimentación y Nutrición de la Universidad de Guadalajara (México). Fuente: Elaboración propia

Las principales diferencias entre los tres ecosistemas de aprendizaje se centran en el factor humano y el contexto cultural. En cuanto al contexto cultural, el ecosistema se ha adaptado al vocabulario y las normativas relativas a estudios de doctorado en México y ha sido validado por los usuarios finales y directores de los estudios de

doctorado. En relación con el factor humano, el comité de calidad desaparece en los dos ecosistemas derivados. El comité de calidad en el ecosistema original es responsable de la evaluación y la monitorización del Programa de Doctorado y del ecosistema de aprendizaje, además de definir la metodología para apoyar los objetivos establecidos por la Comisión Académica. Por otro lado, existen una serie de similitudes entre los tres ecosistemas:

- Mismo objetivo: gestión del conocimiento científico en estudios de doctorado.
- Mismo patrón arquitectónico.
- Los principales componentes *software*: un portal web basado en Drupal, una o más herramientas sociales, un repositorio, un servidor de correo y un sistema de administración de usuarios basado en Drupal.

El ecosistema implantado en la Universidad de Salamanca se mantiene activo desde su definición en 2014, en cambio los ecosistemas derivados, ambos implantados en 2016, no muestran signos de actividad. El ecosistema de aprendizaje (b) tiene información actualizada sobre los estudiantes inscritos, pero no tiene más datos relacionados con la interacción de los usuarios y el uso del ecosistema. El ecosistema de aprendizaje (c) se utilizó durante algunos meses después del despliegue y la capacitación para utilizarlo y administrarlo, pero no hay datos actuales. Después de analizar la situación, la razón principal de esto es la falta de una metodología proporcionada por una o más personas, por lo que queda patente la necesidad de disponer de la metodología en el patrón arquitectónico.

4.4.4.3 Ecosistema para dar voz a los jóvenes

El ultimo caso de estudio se ha llevado a cabo en el contexto del proyecto europeo WYRED [124], un proyecto financiado por el programa Horizon 2020 de la Unión Europea (Tabla 17). Se trata de un proyecto coordinado por el Grupo de Investigación GRIAL de la Universidad de Salamanca cuya duración se extiende desde noviembre de 2016 hasta octubre de 2019.

El proyecto tiene como objetivo proporcionar un marco de investigación en el que niños y jóvenes puedan expresar y explorar sus perspectivas e intereses en relación con la sociedad digital, pero también una herramienta tecnológica desde la que puedan comunicar sus perspectivas a otros interesados de manera efectiva a través de procesos de participación innovadores. WYRED se sustenta sobre la idea de que los jóvenes de todas las edades tienen derecho a la participación y el compromiso. El proyecto se

centra en la inclusión, la diversidad y el empoderamiento de las personas que no encajan en la sociedad actual. El objetivo es reemplazar los procesos de investigación convencionales con el empoderamiento del autoanálisis y la auto-organización a través del diálogo social y la investigación participativa [125].

Tabla 17. Datos del proyecto WYRED. Fuente: Adaptado de

Título	netWorked Youth Research for Empowerment in the Digital society
Acrónimo	WYRED
Financiación	Unión Europea
Convocatoria	Horizon 2020. Europe in a changing world – inclusive, innovative and reflective Societies (HORIZON 2020: REV-INEQUAL-10-2016: Multi-stakeholder platform for enhancing youth digital opportunities)
Referencia	727066
Investigador principal	Francisco José García-Peñalvo
Entidad coordinadora	Universidad de Salamanca (España)
Socios	Oxfam Italia (Italia) PYE Global (Reino Unido) Asist Ogretim Kurumlari A.S. - Doga Schools (Turquía) Early Years - The organisation for young children LBG (Irlanda) Youth for exchange and understanding international (Bélgica) MOVES - Zentrum für Gender und Diversität (Austria) Boundaries Observatory CIC (Reino Unido) Tel Aviv University (Israel)
Presupuesto	993.662,50€
Fecha de inicio	01/11/2016
Fecha de fin	31/10/2019
Web	https://wyredproject.eu

Para apoyar el marco de investigación desde el punto de vista tecnológico, se ha definido el ecosistema tecnológico WYRED [123], que permite tanto la interacción entre los miembros de la comunidad como la gestión del conocimiento generado [5].

El ecosistema WYRED está compuesto por un conjunto de herramientas *open source* y las personas involucradas en el proyecto, no solo los socios, sino también los *stakeholders*, los niños y los jóvenes. La Figura 46 muestra la arquitectura del ecosistema, las conexiones entre los componentes *software* y el factor humano. Para definir la arquitectura se ha utilizado el patrón arquitectónico y la experiencia adquirida en la implementación de los dos casos de estudio previos. El ecosistema WYRED se trata de un ecosistema que permanece en continua evolución con el objetivo de cubrir los nuevos requisitos proporcionados por los socios del proyecto y resolver los problemas detectados durante los estudios de usabilidad [126].

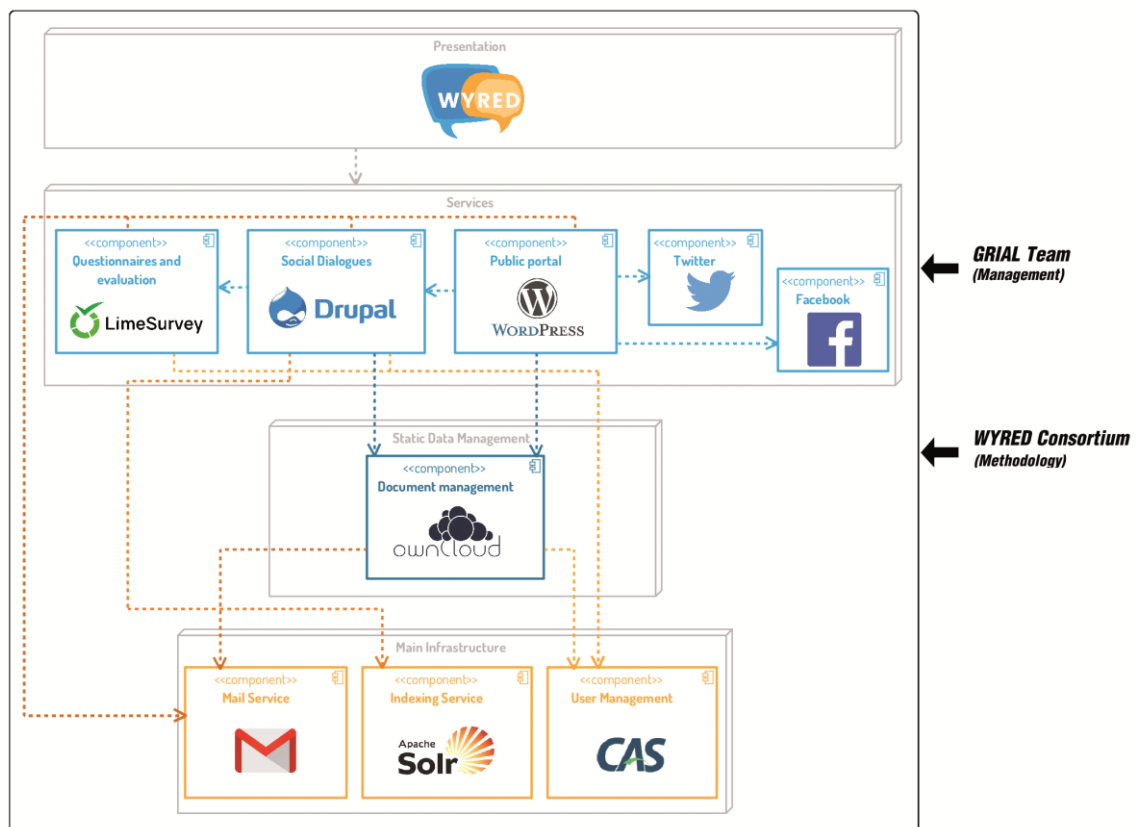


Figura 46. Arquitectura del ecosistema WYRED. Fuente: Elaboración propia

El ecosistema WYRED incorpora las cuatro capas definidas en el patrón arquitectónico – infraestructura, gestión de datos estáticos, servicios y presentación. En primer lugar, la capa de infraestructura proporciona todos los servicios necesarios a nivel interno para que el sistema funcione correctamente. En particular, el servidor de correo, la

herramienta de gestión de usuarios basada en Apereo CAS (<https://www.apereo.org/projects/cas>) y el servicio de indexación para mejorar la herramienta de búsqueda en otros componentes *software* basado en Apache Solr (<http://lucene.apache.org/solr/>).

En el ecosistema WYRED, el objetivo de los diálogos sociales es generar proyectos de investigación individuales y colaborativos. Los archivos de texto, las presentaciones y los materiales multimedia, entre otros tipos de documentos, se utilizan para desarrollar las investigaciones. La capa de gestión de datos estáticos se representa en el ecosistema mediante un sistema para compartir documentos y proporcionar un control de versiones simple para los archivos. Este componente se basa en el *software open source* OwnCloud (<https://owncloud.org>).

La siguiente capa, la capa de servicios, proporciona los componentes *software* con los principales servicios de nivel de usuario y la conexión con las redes sociales para dar visibilidad al conocimiento generado dentro del ecosistema. El principal componente *software* es la Plataforma WYRED (<https://platform.wyredproject.eu>), la cual establece flujos de información con otros componentes del ecosistema para dar soporte a los diálogos sociales que llevan a cabo los jóvenes.

La Plataforma es un entorno totalmente privado, accesible únicamente a los usuarios registrados, por lo que el ecosistema incorpora varios componentes que permiten mostrar la información pública relacionada con el proyecto, no solo la parte formal, sino también el conocimiento generado dentro de la plataforma. Se trata del portal del proyecto basado en WordPress (<https://wyredproject.eu>) y la conexión con dos redes sociales horizontales. El último componente de la capa de servicios es un sistema basado en el *software open source* LimeSurvey, cuyo objetivo es dar soporte a los procesos de evaluación definidos en el marco metodológico de WYRED.

La última capa, presentación, se centra en proporcionar una interfaz uniforme para todos los componentes del ecosistema. El proyecto WYRED tiene una identidad que se aplica a todo el ecosistema. Además, esta capa también garantiza la accesibilidad del ecosistema desde cualquier tipo de dispositivo.

Finalmente, el factor humano del ecosistema está representado por las diferentes instituciones y organizaciones involucradas en el proyecto. Por un lado, el flujo de entrada relacionado con la metodología es proporcionado por todo el consorcio del

proyecto, es decir, todos los socios del mismo. Por otro lado, la gestión es llevada a cabo por el coordinador del proyecto, GRIAL.

4.5 Conclusiones

El desarrollo de ecosistemas tecnológicos, y en particular de ecosistemas más orientados a los procesos de aprendizaje en contextos heterogéneos, aporta un conjunto de ventajas frente al uso de los sistemas de información tradicionales. De hecho, los ecosistemas tecnológicos se sitúan como la evolución de los sistemas de información con el fin de cubrir las necesidades de gestión del conocimiento propias de la Sociedad del Conocimiento.

Por otro lado, este tipo de soluciones tecnológicas tienen una mayor complejidad a la hora de llevar a cabo su definición y desarrollo, acarreamos un conjunto de problemas relacionados con diferentes factores, tanto internos, propios de la empresa o institución, como externos, más relacionados con el contexto cultural y económico.

La hipótesis sobre la que se sustenta el presente trabajo de investigación afirma que es posible mejorar los procesos de definición y desarrollo de los ecosistemas de aprendizaje de tal forma que la tecnología incorpore características fundamentales de los ecosistemas naturales como son los conceptos de evolución y adaptación a las necesidades cambiantes del entorno y de sus organismos. Para aceptar la hipótesis formulada se han definido un conjunto de objetivos específicos, entre los que destaca la definición de un patrón arquitectónico que permita mejorar el proceso de definición de los ecosistemas de aprendizaje y a su vez sirva de base para permitir aplicar ingeniería dirigida por modelos (MDE) para llevar a cabo la definición y desarrollo de este tipo de soluciones tecnológicas.

Para llevar a cabo la investigación se han definido tres ciclos de Investigación-Acción. La definición del patrón arquitectónico y su correspondiente validación se han llevado a cabo en los dos primeros ciclos de Investigación-Acción descritos en el presente capítulo.

A través del análisis DAFO de tres ecosistemas de aprendizaje reales (Tabla 13) se han podido determinar un conjunto de problemas asociados a este tipo de soluciones tecnológicas. Esto ha permitido definir un conjunto de características que todo ecosistema de aprendizaje debería poseer. El patrón arquitectónico se ha definido con el fin de proporcionar una solución formal al conjunto de problemas detectados, de tal

forma que los ecosistemas de aprendizaje definidos a partir del patrón posean las características previamente identificadas.

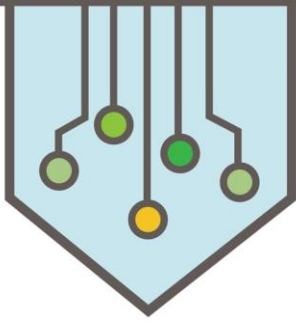
Posteriormente, el patrón arquitectónico ha sido validado mediante el uso de diagramas BPMN. Cada problema se ha modelado como un proceso de negocio, primero sin aplicar el patrón y posteriormente aplicándolo. Además, para finalizar el proceso de validación, el patrón se ha aplicado en varios casos de estudio reales. En primer lugar, un ecosistema tecnológico para la gestión y transferencia de conocimiento en la Administración Pública, el ecosistema tecnológico del Instituto Nacional de la Administración Pública (INAP). Este ecosistema está compuesto por un gran número de herramientas *software open source* orientadas a cubrir diferentes necesidades de gestión del conocimiento tanto dentro del Instituto como a nivel de toda la Administración Pública.

El segundo caso de estudio en el que se ha aplicado el patrón ha sido el ecosistema tecnológico para la gestión del conocimiento en programas de doctorado. Dicho ecosistema ha introducido una variante respecto al caso de estudio previo, ya que se ha implementado en tres contextos diferentes. El ecosistema se ha definido en el contexto del Programa de Doctorado Formación en la Sociedad del Conocimiento de la Universidad de Salamanca como una herramienta para gestionar el conocimiento abierto generado por los estudiantes de doctorado, a la par que dar soporte a los procesos de calidad. Posteriormente, el mismo ecosistema se ha implantado en el Tecnológico de Monterrey (México) para la gestión del conocimiento en los programas de posgrado de la Escuela de Humanidades y Educación. Y, por último, como parte del plan de visibilidad científica e identidad digital del Centro de Investigaciones en Comportamiento Alimentario y Nutrición (CICAN) de la Universidad de Guadalajara (México) [311]. Los tres ecosistemas mantienen una serie de características en común, pero han evolucionado de forma totalmente diferente. El análisis de cada uno de los ecosistemas tras varios años en explotación ha permitido determinar que la falta de metodología en los dos ecosistemas implementados en universidades mexicanas ha sido el desencadenante de la falta de actividad en dichos ecosistemas. Esto permite reafirmar la importancia del factor humano como parte inherente del ecosistema, no únicamente como meros usuarios del mismo.

La definición e implementación del tercer caso de estudio, el ecosistema WYRED, aunque se enmarca en el segundo ciclo de Investigación-Acción, se ha llevado cabo tras

finalizar la etapa de validación del patrón, de tal forma que su objetivo es ratificar la validez del patrón. En este ecosistema se han aplicado todos los conocimientos adquiridos a lo largo del desarrollo de la presente tesis doctoral.

El patrón arquitectónico permite definir ecosistemas de aprendizaje reales que soportan la evolución a lo largo del tiempo, tal y como se ha demostrado con cada uno de los casos de estudio descritos. Permite definir ecosistemas de aprendizaje desplegados en contextos heterogéneos, con necesidades de gestión del conocimiento diferentes y usuarios de diversa índole. Así mismo, la validación del patrón permite sentar las bases para la formalización del mismo a través de un metamodelo.



Capítulo 5

Metamodelo para la definición de ecosistemas de aprendizaje

El objetivo del presente trabajo de investigación es dar una solución basada en arquitecturas *software* e ingeniería dirigida por modelos para permitir mejorar los procesos de definición, desarrollo y evolución de los ecosistemas de aprendizaje. Para alcanzar dicho objetivo, hay un conjunto de sub-objetivos centrados en la definición y validación de un metamodelo de ecosistema de aprendizaje.

Existen trabajos sobre el modelado de ecosistemas *software*, pero la mayoría de los enfoques no están respaldados por una metodología que use los estándares definidos por OMG. Además, la mayoría de ellos se centran en las relaciones y colaboraciones entre los miembros del ecosistema *software*, incluidos los desarrolladores [186, 256, 312]. Las revisiones de la literatura realizadas por Manikas [28, 242], Barbosa y Alves [53], Pettersson et al. [256] y Franco-Bedoya et al. [198] ponen de manifiesto la falta de trabajos en el ámbito del modelado de ecosistemas *software*. Manikas clasifica las soluciones encontradas de acuerdo a la clasificación propuesta por [247], de tal forma que solo un 13% de los estudios que analiza se enmarcan en la categoría relacionada con el modelado. Por su parte, Franco-Bedoya et al., al igual que hacen otros autores

[53, 313], afirma que el desarrollo de técnicas de análisis y modelado es uno de los principales retos de los ecosistemas *software open source*.

El presente capítulo se centra en el último ciclo de Investigación-Acción (Figura 47), la propuesta para el desarrollo dirigido por modelos de los ecosistemas tecnológicos para la gestión del conocimiento y el aprendizaje basados en *software open source*.

En primer lugar, se realiza una introducción a las bases del desarrollo dirigido por modelos, con especial atención al marco de trabajo MDA propuesto por el OMG para la definición del metamodelo [81].

A continuación, se plantea la definición del metamodelo que toma como base arquitectónica el patrón definido y validado en el ciclo de Investigación-Acción previo (Capítulo 4). La primera versión del metamodelo utiliza el estándar proporcionado por OMG, MOF, acompañado de un conjunto de restricciones para asegurar que los modelos de ecosistema instanciados cumplen las pautas proporcionadas por el patrón arquitectónico para resolver los principales problemas en la definición y desarrollo de este tipo de soluciones tecnológicas. Además, la definición se completa con dos casos de estudio reales en los que se ha probado el metamodelo mediante la instanciación manual de dos modelos de ecosistema. En concreto, dos ecosistemas de aprendizaje desplegados en contextos heterogéneos, uno centrado en la gestión del conocimiento científico generado en programas de doctorado [83] y otro en la gestión del conocimiento y el aprendizaje en la Administración Pública española [84]. Esto ha permitido realizar una validación preliminar del metamodelo.

Finalmente, se describe la validación del metamodelo. Este proceso permite, por un lado, asegurar la validez del metamodelo de ecosistema de aprendizaje y, por otro, asegurar su calidad. La validación se centra en comprobar que las instancias del metamodelo se corresponden con el despliegue de los ecosistemas en un contexto real. Para garantizar la validez del proceso, las transformaciones se han realizado aplicando reglas de transformación con el soporte de las herramientas de modelado proporcionadas por Eclipse.

El proceso de validación engloba la evaluación de la calidad del metamodelo y permite obtener como resultado el metamodelo validado.

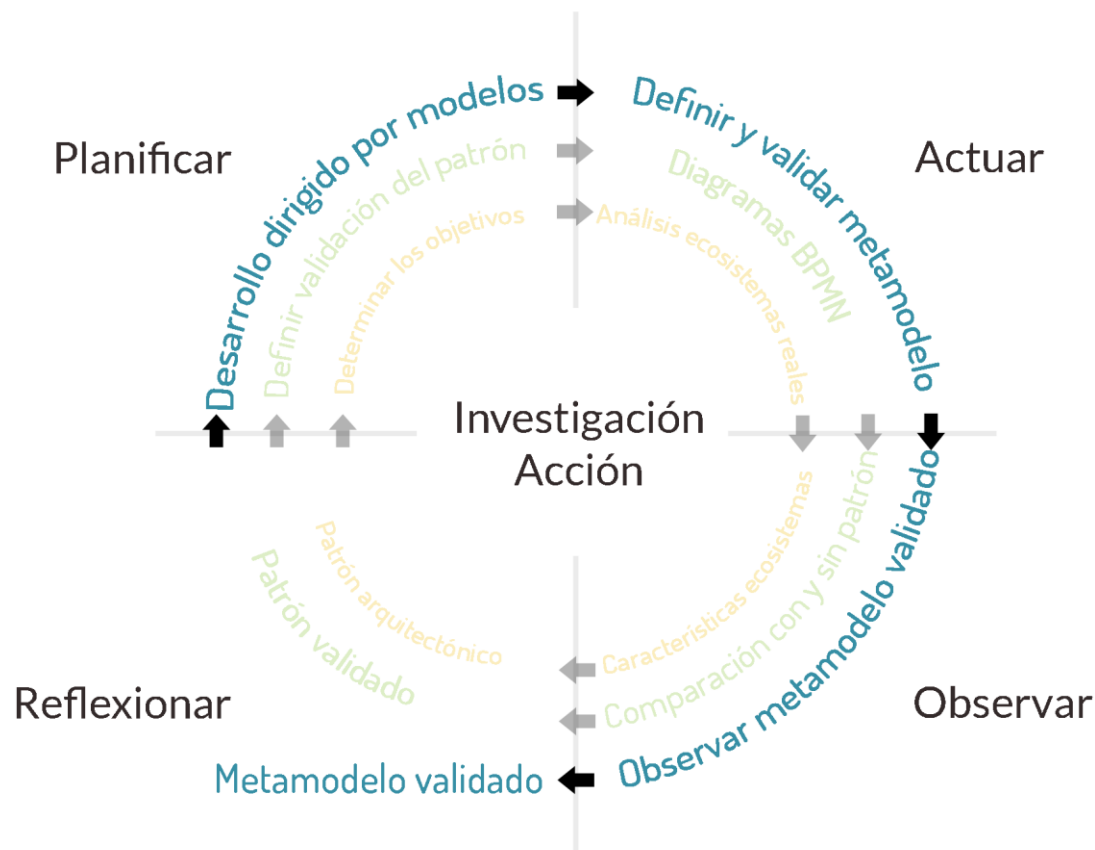


Figura 47. Etapas del tercer ciclo de Investigación-Acción. Fuente: Elaboración propia

5.1 Desarrollo dirigido por modelos

El desarrollo dirigido por modelos, en inglés *Model Driven Development* o MDD, es un enfoque de ingeniería del *software* que consiste en la aplicación de modelos y tecnologías de modelado para incrementar el nivel de abstracción en el que los desarrolladores crean y evolucionan *software*, con el objetivo de simplificar y formalizar las diversas actividades y tareas que componen el ciclo de vida del *software* [314].

El OMG propone MDA [315] para aplicar MDD utilizando el conjunto de estándares para visualizar, almacenar e intercambiar diseños y modelos *software* [316]: *Meta Object Facility* (MOF), *Unified Modeling Language* (UML), *Object Constraint Language* (OCL), *XML Metadata Interchange* (XMI) y *Query/View/Transformation* (QVT).

MDA es un marco de trabajo que se basa en la definición de modelos con el fin de separar, por un lado, la especificación de datos y operaciones del sistema y, por otra parte, los detalles de la plataforma o plataformas en las que se construirá el sistema. Por tanto, MDA permite:

- Definir sistemas independientes de la plataforma sobre la que se construyen.

- Definir plataformas sobre las que construir los sistemas.
- Elegir una plataforma particular para el sistema.
- Transformar la especificación inicial del sistema a la plataforma elegida.

La independencia de la plataforma es una cualidad que tienen que presentar los modelos. Lo que significa que un modelo es independiente de las facilidades o características que implementan las plataformas de cualquier tipo [317]. Para lograrlo, el núcleo de MDA está formado por cuatro modelos, de mayor a menor independencia:

- Modelo independiente de la computación o *Computational Independent Model* (CIM). Modelo del sistema y su entorno, que describe los requisitos del sistema, pero oculta los detalles de su estructura y elementos internos.
- Modelo independiente de plataforma o *Platform Independent Model* (PIM). Modelo de un sistema que no contiene información específica de la plataforma, o la tecnología que se utiliza para realizarlo. Posee un alto nivel de abstracción.
- Modelo específico de plataforma o *Platform Specific Model* (PSM). Modelo de un sistema que incluye información sobre la tecnología específica que se utiliza para su realización en una plataforma específica y, por tanto, posiblemente contenga elementos que son específicos de la plataforma. Un PIM se transforma en uno o varios PSM. Combina las especificaciones del PIM con los detalles que especifican el uso de una plataforma específica por parte del sistema.
- Modelo de plataforma. Modelo que expone un conjunto de conceptos técnicos que representan las diferentes partes que componen un sistema junto con los servicios que provee.

La arquitectura de metamodelado propuesta por OMG se organiza en cuatro capas. En MDA un modelo de una capa superior es utilizado en la capa inferior para definir modelos específicos de plataforma [318]. A continuación, se describe brevemente cada una de las capas de la arquitectura (Figura 48):

- M3 - Meta-metamodelo: La capa superior de la arquitectura define un lenguaje y un marco abstractos para especificar, construir y administrar metamodelos. Es la base para definir cualquier lenguaje de modelado, como UML o incluso el mismo MOF [319]. Todos los elementos de M3 se pueden definir con instancias de conceptos de M3, lo que significa que MOF se define a sí mismo.

- M2 – Metamodelo: La segunda capa contiene todos los modelos definidos por MOF. Los conceptos descritos en los modelos de M2 son instancias de conceptos definidos en M3. UML es un ejemplo de metamodelo.
- M1 - Modelo: La tercera capa contiene los modelos del mundo real que representan conceptos definidos en el correspondiente metamodelo en la capa M2. Los modelos de UML forman parte de este nivel.
- M0 – Instancias: Por último, la cuarta capa contiene instancias reales del sistema, los objetos de la aplicación, las entidades físicas que hay en el sistema. Por ejemplo, la instancia de una clase que almacena datos reales del sistema en funcionamiento.

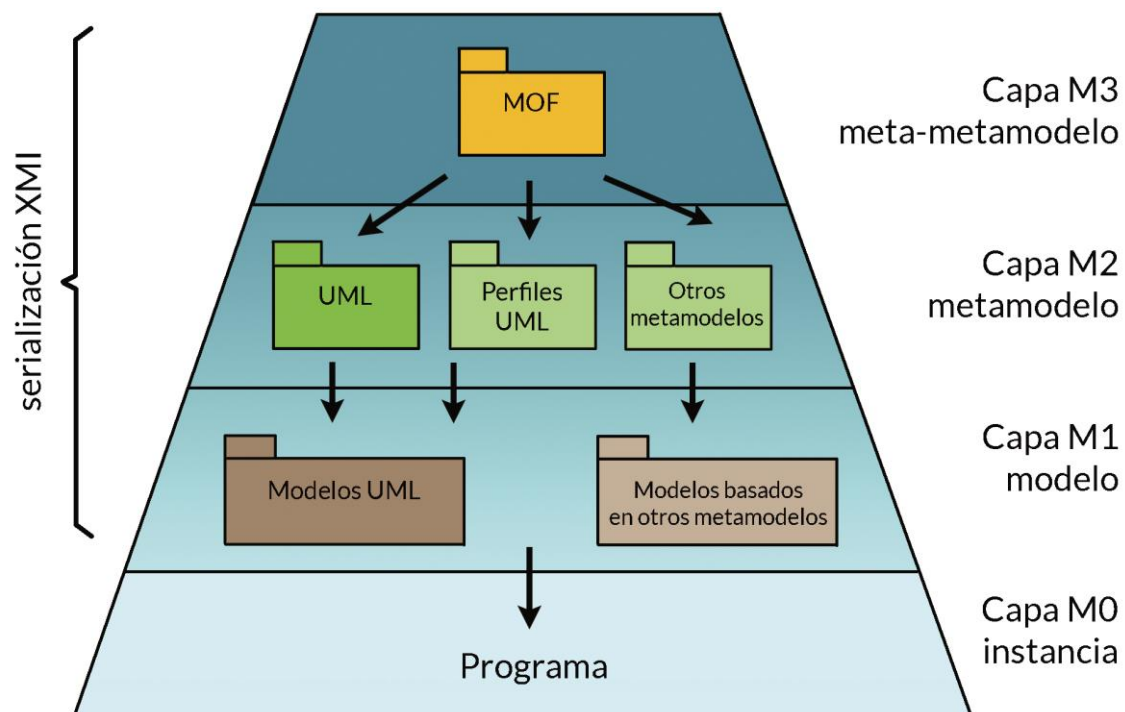


Figura 48. Arquitectura de cuatro capas de MDA. Fuente: Adaptado de [319]

El lenguaje de meta-metamodelo propuesta por OMG es MOF. Este lenguaje utiliza cinco construcciones básicas a partir de las cuáles se puede definir cualquier lenguaje de modelado:

- Clases: todos los tipos de elementos del metamodelo se definen con clases. Por ejemplo UML::Clase.
- Generalización: la relación de generalización entre clases.
- Atributos: propiedades de los elementos del modelo.
- Asociaciones: permiten definir relaciones entre clases.

- Operaciones: define las operaciones dentro del ámbito de una clase, junto con la lista de parámetros.

La definición de los modelos en los diferentes niveles de la arquitectura se puede complementar con OCL, otro de los estándares definidos por OMG. Se trata de un lenguaje de especificación con el que se pueden escribir expresiones sobre modelos. OCL permite indicar valores iniciales de atributos, definir el cuerpo de operaciones de consulta, establecer condiciones de guardia, especificar reglas de derivación para atributos o asociaciones, expresar restricciones sobre clases o atributos.

5.2 Definición del metamodelo

Los principales objetivos de MDA son mejorar la productividad, la portabilidad, la interoperabilidad y la reutilización de los sistemas; características esenciales en herramientas tales como los ecosistemas de aprendizaje que combinan componentes de *software* desarrollados en diferentes lenguajes de programación, con diferentes requisitos *software* y *hardware*, los cuales deben trabajar en conjunto para un objetivo común.

El metamodelo de ecosistema de aprendizaje se ha definido utilizando los estándares proporcionados por OMG. Se trata de un modelo de la capa M2 de la arquitectura de cuatro capas, es decir, se trata de una instancia de MOF (Figura 49).

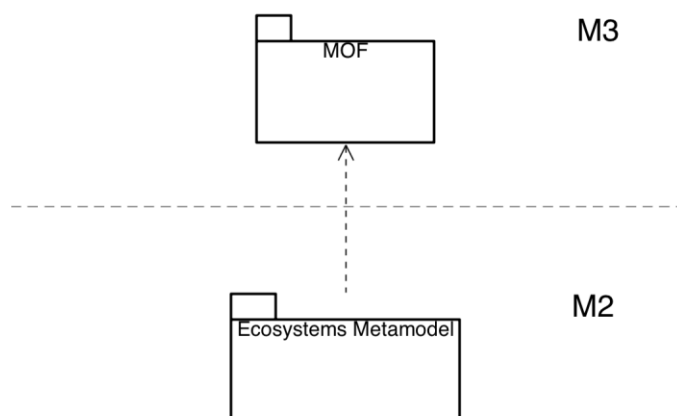


Figura 49. Metamodelo de ecosistema de aprendizaje como instancia de MOF en la arquitectura de capas de OMG. Fuente: Elaboración propia

El metamodelo de ecosistema de aprendizaje se define a partir del patrón arquitectónico (Figura 32) validado en el ciclo de Investigación-Acción anterior (Figura 27) con el fin de modelar ecosistemas de aprendizaje que sigan el patrón, de tal forma que en el proceso de definición del ecosistema se dé solución a los problemas detectados durante

los análisis llevados a cabo en ecosistemas reales. Las capas y los diferentes componentes identificados en el patrón están reflejados en el metamodelo.

El metamodelo es un modelo independiente de plataforma, es decir, un PIM. No se centra en la captura de requisitos relacionados con los componentes *software* o humanos del ecosistema. Los componentes son cajas negras y el metamodelo no busca describir cada componente ya que el objetivo del mismo es poder definir ecosistemas de aprendizaje que conecten y adapten componentes existentes; por tanto, el metamodelo se centra en capturar los elementos de modelado necesarios para definir las relaciones entre componentes.

Los requisitos de alto nivel del metamodelo de ecosistema de aprendizaje son los siguientes [81]:

- El metamodelo permitirá capturar la descripción de alto nivel de los componentes del ecosistema de aprendizaje.
- El metamodelo permitirá capturar el factor humano como parte del ecosistema de aprendizaje.
- El metamodelo permitirá capturar los flujos de información entre los componentes del ecosistema de aprendizaje.
- El metamodelo debe permitir la captura de las configuraciones de los componentes de *software*.

En las siguientes secciones se describe el metamodelo, las restricciones que lo complementan y, por último, se presentan dos casos de estudio para comprobar que el metamodelo permite definir modelos de ecosistemas de aprendizaje reales.

5.2.1 Descripción del metamodelo en MOF

Un ecosistema se compone de una colección de dos tipos de componentes, por un lado, las herramientas *software* y, por otro lado, el factor humano representado de diferentes formas, no solo como usuarios del sistema. El metamodelo de ecosistema de aprendizaje debe reflejar ambos tipos de componentes, así como las relaciones que se establecen entre ellos (Figura 50).

En primer lugar, el ecosistema se representa en el metamodelo mediante la clase abstracta *Ecosystem* que tiene un atributo con el nombre del ecosistema, *Ecosystem.title*. Como se ha mencionado, el ecosistema se compone de un conjunto de elementos, los cuales se representan en el metamodelo mediante la clase abstracta *Component*. Todos

los componentes tendrán un atributo que servirá para identificarlos dentro del ecosistema, *Component.name*. Los dos tipos de componentes son clases abstractas que heredan de *Component*, *SoftwareTool* y *People*.

Las herramientas *software* se organizan en una estructura jerárquica que modela tres de las capas identificadas en el patrón arquitectónico: la capa de servicios a través de la clase abstracta *Tool*; la capa de gestión de datos estáticos a través de la clase *DataRepository*; y la capa de infraestructura a través de la clase abstracta *Infrastructure*. La capa de presentación no forma parte del metamodelo debido a que las interfaces gráficas de los componentes *software* están estrechamente relacionadas a la tecnología utilizada en cada componente.

Además, un ecosistema puede estar compuesto por herramientas *software* que contienen a otras herramientas, esto se ha modelado mediante una asociación recursiva en la clase *SoftwareTool* y, posteriormente, se ha complementado con restricciones OCL.

Las componentes *software* identificados en cada una de las capas del patrón arquitectónico forman parte de la jerarquía descrita previamente. *MailServer*, *Monitorization* y *UserManagement* heredan de la clase *Infrastructure* y representan los componentes que todo ecosistema debe tener como base para soportar los servicios de las capas superiores. Además, otras subclases pueden incorporarse a la jerarquía para representar otros componentes que pudieran ser necesarios para sustentar el ecosistema.

Respecto a las herramientas en la capa de servicios, se han modelado como subclases de la clase *Tool* y se han organizado en dos tipos, las herramientas internas y las externas, *InternalTool* y *ExternalTool*. Las herramientas internas son aquellos componentes *software* que son en su totalidad parte del ecosistema, en cambio, las herramientas externas son componentes *software* utilizados por el ecosistema pero que su funcionamiento no depende de él.

El factor humano, al igual que en el patrón arquitectónico, es uno de los elementos más relevantes para garantizar la evolución del ecosistema. En el metamodelo, hay una clase abstracta que representa el factor humano, la clase *People*, de la cual heredan cuatro clases que representan cada uno de los elementos humanos involucrados en un ecosistema de aprendizaje. En particular, estas clases representan las dos corrientes de

entrada definidas previamente en el patrón arquitectónico. El flujo de entrada relativo a la metodología se modela a través de la clase *Methodology* y el flujo de entrada relativo a la gestión a través de la clase de *Management*. Ambos flujos de entrada son el resultado del trabajo de una o varias personas, las cuales se modelan a través de la clase *User*. La relación entre los usuarios y la metodología está representada por una asociación bidireccional que significa que las personas pueden establecer una o más metodologías en un ecosistema. Por otro lado, para modelar que las personas deben garantizar la aplicación de la metodología a través de la gestión, se ha definido otra asociación bidireccional entre *User* y *Management*.

Además, la gestión en un ecosistema se compone de un conjunto de objetivos relacionados con la tecnología y la gestión del conocimiento. Estos objetivos se modelan mediante la clase *Objective* y dos asociaciones bidireccionales. La primera, entre las clases *Objective* y *Methodology*, para modelar que un objetivo puede aplicar una metodología. La segunda, entre la clase *Objective* y la clase que representa los flujos de información de los ecosistemas de aprendizaje, *InformationFlow*, para modelar que los flujos de información se pueden definir para alcanzar uno o más objetivos.

La clase *InformationFlow* es una clase abstracta que establece una relación entre dos instancias de *SoftwareTool*. Existen diferentes formas de establecer flujos de información entre dos herramientas *software*. En el caso de los ecosistemas de aprendizaje, se plantea el uso de servicios para lograr bajo acoplamiento y alta cohesión. Este requisito se modela a través de la subclase *Service*. *ServiceDescription* representa la descripción semántica del servicio. *ServiceInterface* representa las capacidades subyacentes ofrecidas por un servicio. *ServiceOperation* representa una capacidad concreta y permite modelar escenarios dirigidos por eventos utilizando los atributos *ServiceOperation.isNotification* y *ServiceOperation.isListener*.

Los servicios se modelan tomando como base una versión muy simplificada de la vista de capacidad de servicio del metamodelo de servicios web propuesto por Jegadeesan y Balasubramaniam [320]. Existen otras propuestas en la literatura relacionadas con metamodelo de servicios web [321, 322]. En concreto, Simon et al. [321] resumen los trabajos relacionados con el modelado de servicios web y proporcionan un metamodelo que admite estándares de servicios web, pero [320] se postula como una solución más completa al permitir modelar cuestiones relacionadas con los protocolos utilizados en servicios web.

Finalmente, la clase *Property* proporciona la semántica para modelar la configuración proporcionada por un componente *software* y utilizada por otro. Esta parte del metamodelo complementa los flujos de información para establecer diferentes niveles de relación entre los componentes.

La Figura 50 muestra el metamodelo de ecosistema de aprendizaje. Se puede consultar en detalle en el siguiente enlace <https://doi.org/10.5281/zenodo.829859>.

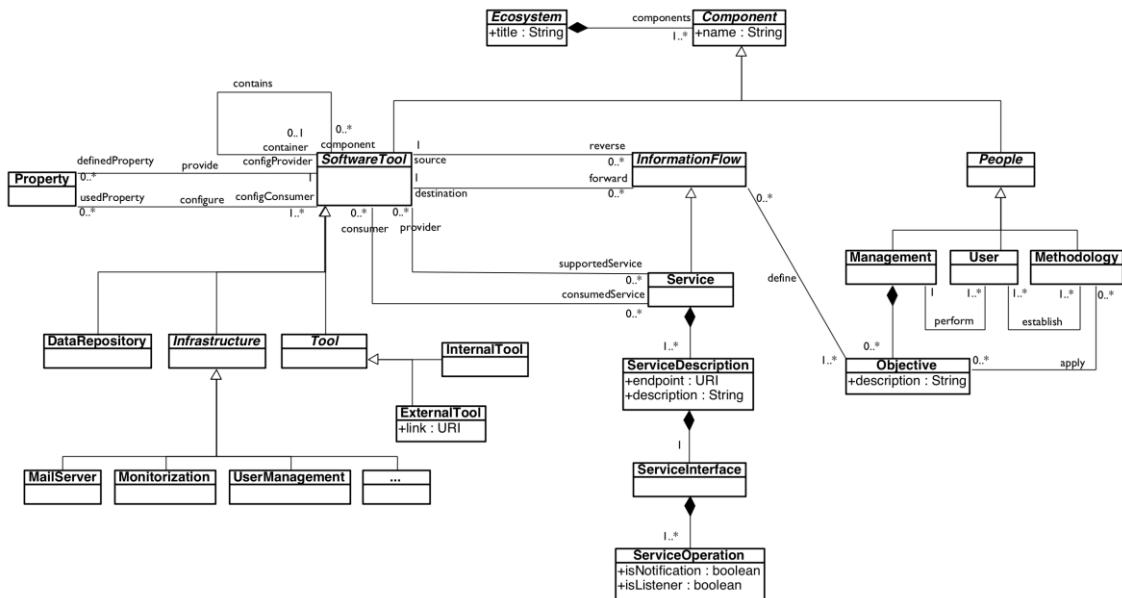


Figura 50. Metamodelo de ecosistema de aprendizaje instanciado a partir de MOF. Fuente: Elaboración propia

5.2.2 Restricciones OCL del metamodelo en MOF

El metamodelo (Figura 50) se complementa con un conjunto de restricciones en OCL.

En primer lugar, según el patrón arquitectónico propuesto en el Capítulo 4, un ecosistema debe tener un servidor de correo, un sistema de monitorización, un sistema para la gestión de usuarios, y al menos una herramienta interna, un flujo de entrada de gestión, un flujo de entrada de metodología y un usuario. La siguiente invariante en OCL asegura que se cumpla:

```
context Ecosystem inv:
self.components -> select(c |
    c.ocIsTypeOf(MailServer)) -> size() = 1 and
self.components -> select(c |
    c.ocIsTypeOf(Monitorization)) -> size() = 1 and
self.components -> select(c |
    c.ocIsTypeOf(UserManagement)) -> size() = 1 and
self.components -> select(c |
```

```

        c.oclIsTypeOf(InternalTool)) -> notEmpty and
self.components -> select(c |
        c.oclIsTypeOf(Management)) -> notEmpty and
self.components -> select(c |
        c.oclIsTypeOf(Methodology)) -> notEmpty and
self.components -> select(c |
        c.oclIsTypeOf(User)) -> notEmpty

```

Por otro lado, al modelar los servicios, se debe asegurar que el punto de acceso a los servicios sea único en todo el ecosistema:

```

context ServiceDescription inv:
ServiceDescription.allInstances -> forAll (p1,p2 |
        p1 < > p2 implies p1.endpoint < > p2.endpoint)

```

Además, cada servicio es proporcionado por una herramienta *software* y consumido por ninguna o muchas herramientas. Para evitar que una herramienta consuma el mismo servicio que proporciona se ha definido la siguiente invariante:

```

context SoftwareTool inv:
self < > self.consumedService.provider

```

Por último, el servidor de correo se conecta con el resto de las herramientas a través de un conjunto de parámetros que deben conocerse, para ello se necesita que el servidor de email al menos proporcione una propiedad:

```

context MailServer inv:
self.definedProperty -> notEmpty

```

5.2.3 Casos de estudio

El metamodelo de ecosistema de aprendizaje se ha probado en dos casos de estudio con el objetivo de comprobar que permite definir modelos de ecosistemas de aprendizaje reales.

Para ello, se han tomado dos de los ecosistemas de aprendizaje utilizados para validar el patrón arquitectónico y se ha definido su correspondiente modelo a partir del metamodelo, es decir, se ha instanciado el metamodelo para comprobar si permite modelar todas las características del ecosistema real. Los modelos obtenidos en cada caso de estudio son modelos de nivel M1 en la arquitectura de cuatro capas de OMG (Figura 51).

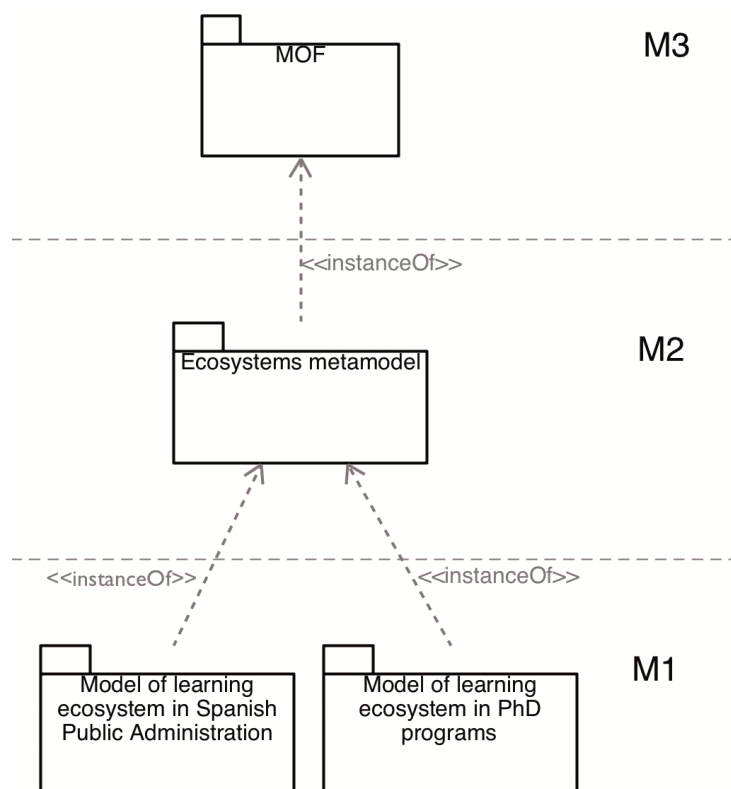


Figura 51. Modelos instanciados a partir del metamodelo de ecosistema de aprendizaje en la arquitectura de cuatro capas de OMG. Fuente: Elaboración propia

Respecto a los ecosistemas reales elegidos, se han tomado dos de los ecosistemas utilizados en la etapa de validación del patrón arquitectónico en el ciclo de Investigación-Acción previo. En primer lugar, el ecosistema para la gestión del conocimiento científico en un Programa de Doctorado, concretamente el ecosistema para el Programa de Doctorado Formación en la Sociedad del Conocimiento de la Universidad de Salamanca [101, 102, 136]. En segundo lugar, el ecosistema para la gestión del conocimiento en la Administración Pública española, también denominado ecosistema del INAP [100, 168, 278, 303]. Para más información sobre el contexto de ambos ecosistemas consultar el apartado 4.4.4.

5.2.3.1 Ecosistema para la gestión del conocimiento en un Programa de Doctorado

El ecosistema de aprendizaje para gestionar el conocimiento científico en el Programa de Doctorado Formación en la Sociedad del Conocimiento proporciona un entorno en el que los estudiantes puedan gestionar todo el conocimiento que generan a lo largo de sus estudios de doctorado. Así mismo, el ecosistema permite dar visibilidad y difundir dicho conocimiento, de tal forma que el trabajo realizado por los investigadores noveles tenga un mayor impacto a nivel nacional e internacional. Para alcanzar dichos objetivos

el ecosistema de aprendizaje combina tecnología y metodología para proporcionar las herramientas necesarias tanto a los estudiantes del Programa como a los docentes y colaboradores.

Los principales componentes del ecosistema son el portal de Doctorado y un conjunto de herramientas sociales externas tales como SlideShare para compartir presentaciones o un canal de Youtube para compartir seminarios y conferencias que tienen lugar como parte de las actividades del Programa (Figura 44).

La definición del modelo conceptual de este ecosistema de aprendizaje se ha realizado definiendo tres vistas o paquetes a partir del metamodelo propuesto [81, 83]. Las vistas corresponden a las tres partes principales identificadas en el metamodelo de ecosistemas: componentes *software* (Figura 52), elementos humanos (Figura 53) y la relación entre ellos (Figura 54). Se puede consultar la versión de los diagramas en alta resolución en el siguiente enlace <http://doi.org/10.5281/zenodo.1302449>.

En primer lugar, en la vista de las herramientas *software* (Figura 52), la clase *PhDEcosystem* representa el ecosistema en sí mismo, realizando la función de contenedor. Esta clase se instancia a partir de la clase *Ecosystem* que es el elemento central del metamodelo. El resto de los componentes *software* están relacionados con el ecosistema a través de una relación de composición, de tal forma que si el ecosistema desaparece todos sus componentes desaparecerán; en cambio, si uno de los componentes se elimina el ecosistema y el resto de los componentes permanecerán inmutables.

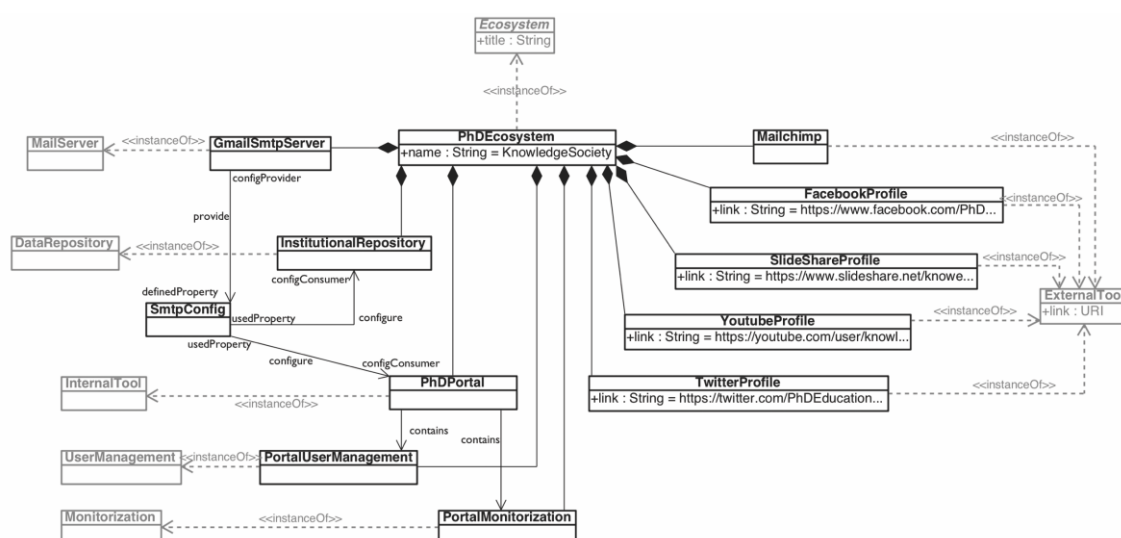


Figura 52. Vista de las herramientas *software* del ecosistema de aprendizaje para programas de doctorado. Fuente: Elaboración propia

El ecosistema modelado cumple el patrón arquitectónico propuesto en esta tesis doctoral. Respecto a la infraestructura, el ecosistema tiene un servidor de correo, un sistema de gestión de usuarios y un sistema de monitorización, estando estos dos últimos contenidos en otros componentes del ecosistema. Cada uno de estos componentes se modela como instancias de las subclases de *SoftwareTool*, concretamente *GmailSmtplibServer*, *PortalUserManagement* y *PortalMonitorization*. En relación a la capa de datos estáticos, el ecosistema tiene un repositorio documental que queda reflejado en el modelo mediante *InstitutionalRepository*, una instancia de *DataRepository*.

Por último, en cuanto a componentes *software* se refiere, la capa de servicios del ecosistema contiene un conjunto de servicios 2.0 – Mailchimp, Facebook, Twitter, SlideShare, Youtube – y el portal de Doctorado. En el modelo, los servicios 2.0 son instancias de la clase *ExternalTool* y el portal es una instancia de la clase *InternalTool*.

Además de instanciar los diferentes componentes *software*, el modelo debe cumplir las restricciones OCL definidas en el metamodelo. En el caso de la restricción asociada a los componentes *software* el modelo cumple con el conjunto de componentes obligatorios que debe contener todo modelo instanciado a partir del metamodelo. Por otro lado, la restricción relacionada con el servidor de correo también se cumple debido a la instancia de *Property* que representa la configuración del servidor, *SmtplibConfig*.

La segunda vista o paquete modela el factor humano del ecosistema (Figura 53). En el Programa de Doctorado existen dos factores humanos clave, la Comisión Académica, que realizar tareas de gestión; y la Comisión de Calidad, cuyo objetivo es asegurar la calidad del programa a través de un plan de calidad. Por un lado, los comités se modelan como instancias de la clase *User*, concretamente *AcademicCommittee* y *QualityCommittee*. Las tareas de gestión son instancias de la clase *Management* (*PhDGuidelines* y *PhDProcedures*) y se relacionan con la clase *AcademicCommittee* para indicar que es la encargada de ejecutarlas. En cuanto al plan de calidad, *QualityPlan*, se trata de una instancia de la clase *Methodology* que se relaciona con *QualityCommittee* para modelar quiénes son los encargados de definirlo.

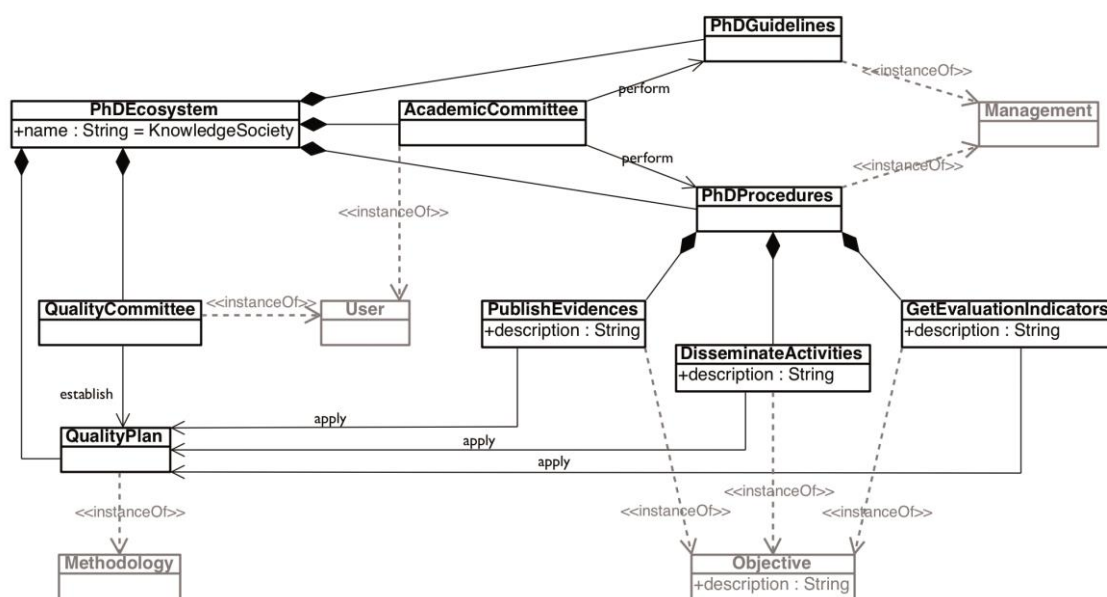


Figura 53. Vista de los componentes relacionados con el factor humano del ecosistema de aprendizaje para programas de doctorado. Fuente: Elaboración propia

Por último, los flujos de gestión definen un conjunto de objetivos que deben alcanzarse. En el modelo únicamente se han modelado tres objetivos con el fin de simplificar el modelo y facilitar su análisis. Cada objetivo – *PublishEvidences*, *DisseminateActivities* y *GetEvaluationIndicators* - es una instancia de *Objective*.

Respecto a las restricciones OCL, la restricción asociada a los componentes *software* tiene una segunda parte donde menciona los flujos de entrada del ecosistema, de forma que es necesario que al menos haya un flujo de gestión, una metodología y un usuario. El presente modelo cumple con estos requisitos.

Respecto a la definición de las relaciones entre componentes *software*, además de los ficheros de configuración ya mencionados, esta se realiza en base a los objetivos. La terna, flujos de información, objetivos y metodología, permite facilitar la evolución del ecosistema debido a que todas las conexiones y dependencias entre elementos están claramente identificadas y soportadas en base al factor humano.

Cada objetivo tiene asociado un flujo de información implementado a través de uno o varios servicios web. En la Figura 54 se observa como cada objetivo define un servicio, o dos en el caso de *AutopostService*. Los servicios son proporcionados y consumidos por los componentes *software* del ecosistema. Por ejemplo, *InstitutionalRepository* proporciona un servicio para publicar automáticamente documentos y *PhDPortal* hace uso de dicho servicio, *PublicationService*.

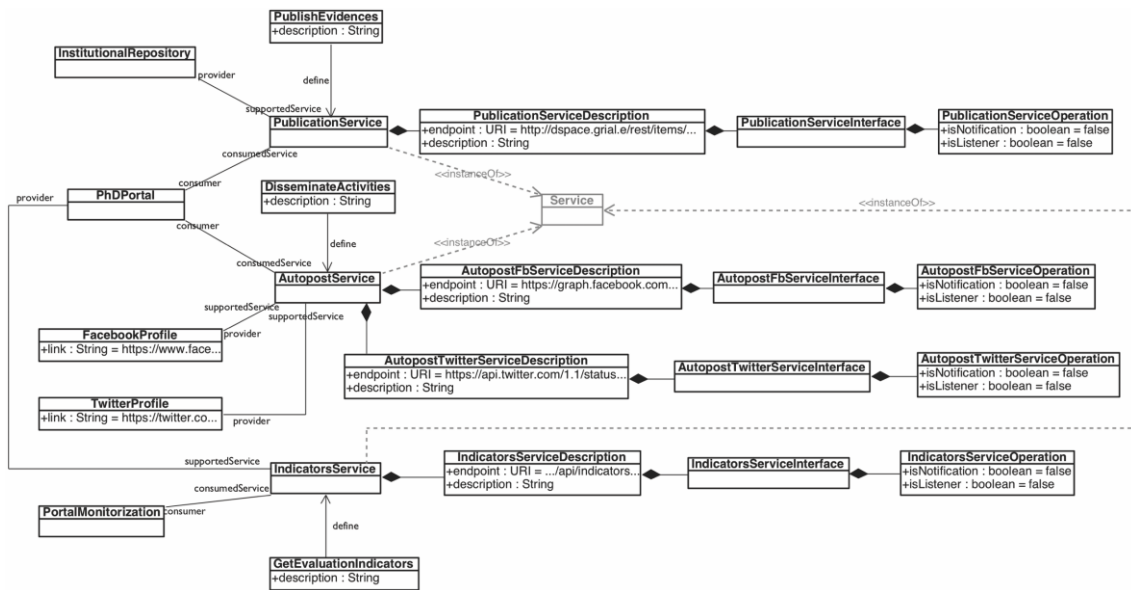


Figura 54. Vista de las relaciones entre componentes del ecosistema de aprendizaje para programas de doctorado. Fuente: Elaboración propia

Los servicios web permiten establecer conexiones de cualquier tipo entre dos herramientas de forma casi transparente. Si un servicio web deja de funcionar o cambia el ecosistema continuará funcionando. Igualmente, si el componente que proporciona el servicio cambia basta con reemplazar ese servicio o eliminar la relación que se establece entre el consumidor y el servicio que ya no existe. El modelo refleja la interoperabilidad entre los elementos que existen en el ecosistema real del Programa de Doctorado.

El modelo planteado encaja con los diferentes elementos del metamodelo y cumple las diferentes condiciones definidas mediante restricciones OCL. Por lo tanto, se puede concluir que en este caso de estudio el metamodelo de ecosistema de aprendizaje permite modelar el ecosistema para la gestión del conocimiento en un Programa de Doctorado.

5.2.3.2 Ecosistema para la gestión del conocimiento en la Administración Pública

El ecosistema de aprendizaje del INAP tiene como objetivo gestionar el conocimiento generado en la Administración Pública española. Está compuesto por un gran número de componentes orientados a cubrir las diferentes necesidades de gestión del conocimiento tanto del Instituto como del exterior. Hay tres componentes principales (Figura 43): las comunidades de prácticas basadas en una red social vertical para empleados públicos; el Banco de Conocimiento o BCI para compartir el conocimiento

generado dentro de la Administración Pública; y el repositorio de cursos para compartir cursos entre todas las instituciones que componen la Administración Pública española.

La definición del modelo conceptual de este ecosistema de aprendizaje se ha realizado definiendo tres vistas o paquetes a partir del metamodelo propuesto: componentes *software* (Figura 55), elementos humanos (Figura 56) y la relación entre ellos (Figura 57). Se puede consultar la versión de los diagramas en alta resolución en el siguiente enlace <http://doi.org/10.5281/zenodo.1302451>.

En primer lugar, la Figura 55 muestra la vista de las herramientas *software* que componen el ecosistema de aprendizaje del INAP. Hay tres tipos principales de componentes: infraestructura, repositorios de datos y herramientas.

La clase *PublicAdministrationEcosystem* representa al ecosistema, se trata del elemento principal que contiene al resto de elementos del modelo. Se instancia a partir de la clase *Ecosystem* del metamodelo.

Respecto a los componentes *software*, las clases que modelan la infraestructura son: *LDAP* y *CAS*, ambas instancias de *UserManagement*; la clase *InstitutionalMailServer* que es una instancia de *MailServer*; las clases *BCIMonitorization*, *SNMonitorization* y *CRMonitorization* que proporcionan el sistema de monitorización; y la clase *IndexingService* que representa una herramienta para mejorar los procesos de búsqueda de información y descubrimiento de conocimiento. En cuanto a la capa de datos estáticos, queda representada en el modelo mediante la clase *DocRepository*, una instancia de *DataRepository*.

Las herramientas que proporcionan los servicios a nivel de usuario se modelan como instancias de la clase *InternalTool*: *BCI*, *SocialNetwork*, *CourseRepository*, *WebPortal* y *InternalManagementTool*. El ecosistema de aprendizaje modelado no usa herramientas externas como Facebook o Twitter. El metamodelo admite este escenario porque no hay restricciones OCL que fuercen la creación de instancias de la clase *ExternalTool*.

Además, con el fin de cumplir las restricciones OCL definidas en el metamodelo, la configuración del servidor de correo se modela mediante la clase *SmtplibConfig*, al igual que ocurre en el caso de estudio previo.

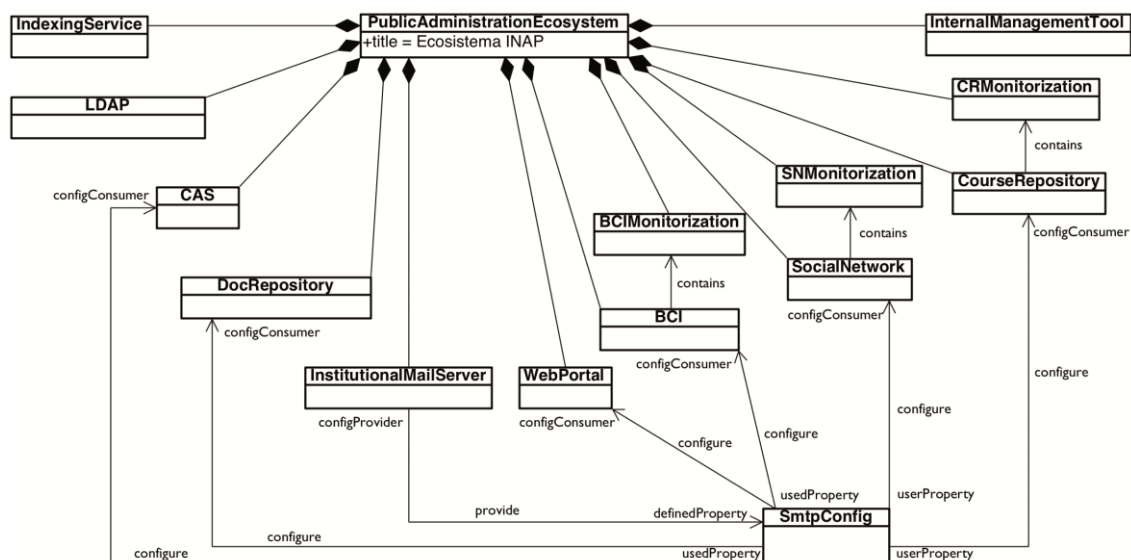


Figura 55. Vista de las herramientas software del ecosistema de aprendizaje del INAP. Fuente: Elaboración propia

La segunda vista modela el factor humano del ecosistema (Figura 56). Los usuarios y los flujos de entrada identificados en el patrón arquitectónico se representan aquí como instancias de las clases *User*, *Management* y *Methodology* del metamodelo. En particular, *DeptDocumentManagement*, *Manager* y *ITManager* son instancias de la clase *User* que representan el Centro de Estudios y Gestión del Conocimiento, la Gerencia y al Coordinador de Tecnologías de la Información. La Gerencia y el Coordinador de Tecnologías de la Información realizan el Plan Estratégico del INAP representado por la clase *StrategicPlan*. Las clases *SocialStrategy* y *SWRequirements* son instancias de la clase *Methodology* y proporcionan pautas para implementar el Plan Estratégico.

El Plan Estratégico está compuesto por un conjunto de objetivos. Solo se han modelado tres objetivos para simplificar el diagrama. Las instancias de la clase *Objective* del metamodelo son las clases *PromoteLaborRelations*, *SecureUserManagement* y *ShareTraining*.

Finalmente, la Figura 57 muestra la vista de los flujos de información entre los componentes del ecosistema. Esta vista solo muestra los flujos de información relacionados con los objetivos previamente identificados. Hay tres servicios definidos, uno por cada objetivo. En primer lugar, la clase *SearchService* modela un servicio proporcionado por la clase *IndexingService* y consumido por dos instancias de la clase *InternalTool*. La clase *LoginService* proporciona un servicio para admitir *Single Sign On* (SSO) a través de la clase *CAS*; los principales componentes *software* definidos anteriormente consumen este servicio. La clase *DocRepository* proporciona la clase

*BCI*service y tiene dos descripciones de servicio, una para admitir la publicación de documentos y materiales multimedia (la clase *PublishingServiceDescription*) y otra para permitir búsquedas (la clase *RepositorySearchServiceDescription*); todas las instancias de la clase *InternalTool* usan este servicio.

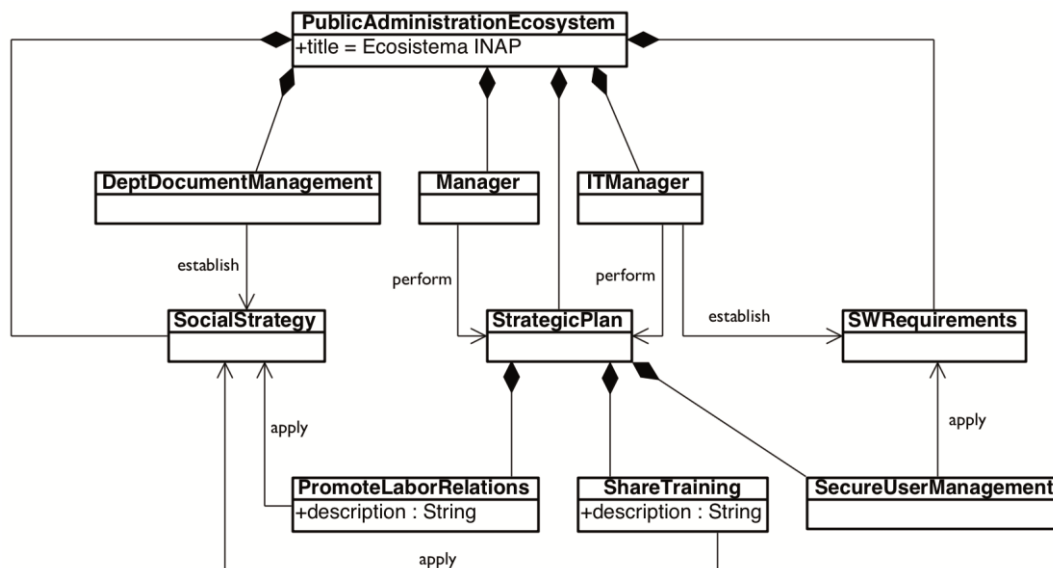


Figura 56. Vista de los componentes relacionados con el factor humano del ecosistema de aprendizaje del INAP. Fuente: Elaboración propia

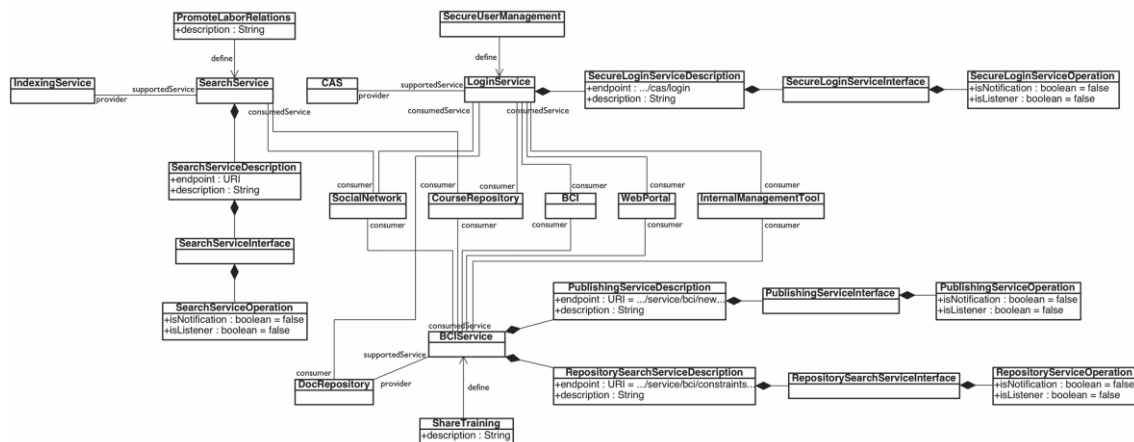


Figura 57. Vista de las relaciones entre componentes del ecosistema de aprendizaje del INAP. Fuente: Elaboración propia

En cuanto a las restricciones OCL del metamodelo, no se cumplen todas. En particular, no se cumple la primera restricción fuerza la instanciación de un conjunto de clases relacionadas con los componentes *software* y humanos. Concretamente, la restricción obliga a que solo haya un sistema de monitorización y un sistema de gestión de usuarios. En cambio, el ecosistema modelado tiene tres instancias de la clase *Monitorization* (*BCIMonitorization*, *CRMonitorization*, *SNMonitorization*) y dos

instancias de la clase *UserManagement* (*LDAP*, *CAS*). Todas ellas combinadas proporcionan la monitorización y la gestión unificada de usuarios, pero no cumplen la restricción.

La segunda restricción garantiza que el servidor de correo proporciona al menos una propiedad, esto se cumple a través de la clase *SmtplibConfig*.

La tercera restricción relacionada con el valor del atributo *ServiceDescription.endpoint* se cumple, cada descripción proporciona valores únicos.

La última restricción garantiza que una instancia de la clase *InternalTool* no puede proporcionar y consumir el mismo servicio. Todos los servicios definidos en el modelo son proporcionados por una clase y consumidos por otra.

Además, el modelo apoya la evolución del ecosistema sin invalidar el metamodelo. Por ejemplo, si se elimina un componente *software*, el modelo puede incluir ese cambio y mostrar cómo se adapta el ecosistema, o si se incluye un nuevo componente, el metamodelo proporciona las clases para instanciarlo.

Al igual que en el primer caso de estudio, el modelo planteado encaja con los diferentes elementos del metamodelo. Respecto a las restricciones OCL, cumple tres de las cuatro, a diferencia del primer caso de estudio que las cumple todas. Se puede concluir que el metamodelo de ecosistema de aprendizaje permite modelar ecosistemas reales basados en el patrón arquitectónico definido en el ciclo de Investigación-Acción previo (Capítulo 4) con excepción de ciertas combinaciones de componentes de la capa de infraestructura. En la siguiente etapa del ciclo de Investigación-Acción se aborda el problema detectado y se plantea una solución con objeto de ofrecer un metamodelo robusto.

5.3 Validación y aseguramiento de la calidad del metamodelo

Después de comprobar que el metamodelo de ecosistema de aprendizaje permite definir modelos de ecosistemas reales respetando el patrón arquitectónico previamente definido, es necesario validar el metamodelo mediante procesos automatizados, a la par que asegurar la calidad del mismo. Además, el proceso de validación permite garantizar la solidez y fiabilidad del metamodelo para definir ecosistemas de aprendizaje.

Para llevar a cabo el proceso de validación es necesario verificar que las instancias del metamodelo de ecosistema de aprendizaje son recíprocas al despliegue del ecosistema de aprendizaje en un contexto real, es decir, es necesario transformar las instancias del

metamodelo independiente de plataforma en un modelo específico de plataforma o PSM. Para asegurar la validez del proceso es necesario que las transformaciones entre modelos se realicen utilizando herramientas en vez de manualmente como se ha hecho en los dos casos de estudio descritos en la sección anterior.

Aunque OMG proporciona varios estándares para soportar MDA, no se han encontrado herramientas estables que permitan la definición y el mapeo de metamodelos y modelos utilizando dichos estándares. Para resolver esto, el metamodelo de ecosistema de aprendizaje se ha transformado en una instancia de Ecore [85] en lugar de MOF con el fin de utilizar las herramientas proporcionadas por *Eclipse Modeling Project* (EMF). EMF es un conjunto de *plugins* de Eclipse que proporcionan un marco para desarrollar metamodelos utilizando Ecore y permiten la transformación automática de Modelo a Modelo (M2M) y de Modelo a Texto (M2T) mediante la definición de reglas de transformación en ATL [323, 324]. Ecore es un metamodelo basado en MOF cuyo objetivo es ser más simple y práctico. Además, los diseñadores de Ecore han participado en la definición del núcleo de MOF 2.0, MOF esencial o EMOF, por lo que ambos son muy similares.

En las siguientes secciones se describe la metodología utilizada para validar el metamodelo y asegurar su calidad, así como las diferentes fases que conforman el proceso de validación y los resultados obtenidos en cada una de ellas.

5.3.1 Metodología

El proceso para validar el metamodelo de ecosistema de aprendizaje está compuesto por ocho fases (Figura 58). Cada fase tiene una entrada y proporciona un resultado que a su vez sirve de entrada en la siguiente etapa. Además, algunas fases se utilizan para revisar y mejorar la versión en Ecore del metamodelo.

La primera fase se centra en la evaluación de la calidad de la versión MOF del metamodelo de ecosistema de aprendizaje. En concreto, la calidad ha sido verificada utilizando el *framework* propuesto por López-Fernández et al. [87]. Este *framework* está compuesto por treinta características que los metamodelos deberían seguir. Las características se dividen en cuatro categorías: (1) diseño, propiedades que señalan un diseño defectuoso (un error); (2) mejores prácticas, pautas básicas de calidad del diseño (una advertencia); (3) convenciones de nomenclatura, cuestiones relacionadas con el uso de verbos, sustantivos, etc.; (4) métricas, medidas de elementos del metamodelo y su valor de umbral [325].

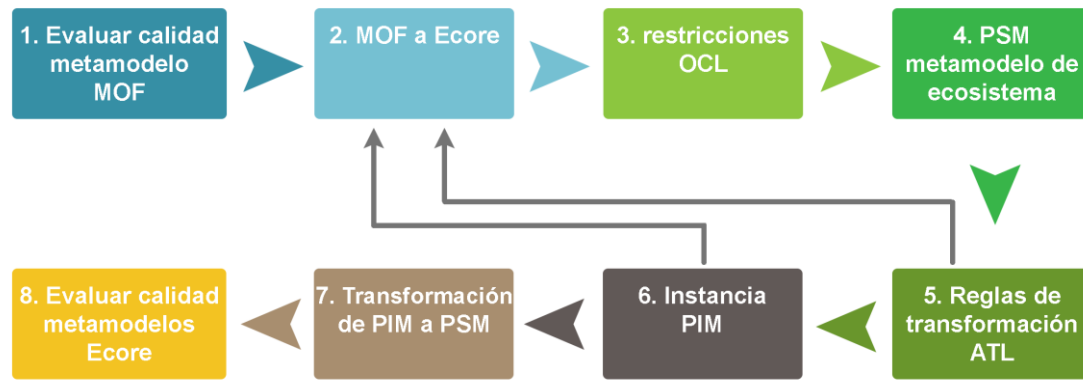


Figura 58. Flujo de trabajo para validar el metamodelo de ecosistema de aprendizaje y garantizar su calidad.
Fuente: Elaboración propia

La segunda fase parte del análisis de calidad y la primera versión del metamodelo para definir la versión en Ecore. Se trata de una transformación entre dos modelos de nivel M2 en la arquitectura de cuatro capas definida en MDA, concretamente una transformación M2M. MOF y Ecore admiten el uso del estándar XMI, lo que permite el intercambio de modelos e instancias de modelos a través de XML basados en esquemas DTD / XML generados a partir de los correspondientes modelos [326]. En cambio, la transformación se ha realizado manualmente debido a varios problemas con la herramienta utilizada para definir el metamodelo en MOF. La primera versión del metamodelo se ha realizado en la herramienta Visual Paradigm mediante un diagrama de clases en UML y no ha sido posible importarlo a Eclipse utilizando XMI. La instancia de Ecore se ha realizado utilizando las herramientas gráficas para Ecore incluidas en EMF, concretamente Graphical Modeling. Finalmente, la versión en Ecore se ha mejorado para resolver los problemas de calidad detectados en la fase anterior.

Una vez que se tiene la versión en Ecore, la siguiente fase se centra en la revisión y mejora de las restricciones OCL que completan la definición del metamodelo. El metamodelo instanciado de MOF incluye las restricciones como notas de texto en el diagrama, en cambio, la versión en Ecore incluye las restricciones como parte del metamodelo utilizando el editor OCLinEditor proporcionado por EMF.

La cuarta fase se centra en el modelo específico de plataforma (*Platform Specific Model* o PSM en inglés) para desarrollar ecosistemas de aprendizaje basados en *software open source*. Un PSM es un modelo que incluye información sobre la tecnología específica que se utiliza para su realización en una plataforma concreta y, por tanto, existe la posibilidad de que contenga elementos que son propios de la plataforma. El metamodelo de ecosistema de aprendizaje es un modelo independiente de plataforma

(PIM), no contiene información específica de la plataforma o la tecnología que se utiliza para realizarla. El metamodelo de ecosistema de aprendizaje específico de plataforma proporciona las pautas, las herramientas *software* y los mecanismos tecnológicos y humanos necesarios para implementar el ecosistema definido inicialmente como una instancia del metamodelo de ecosistema de aprendizaje.

Las siguientes fases se ocupan de la transformación de una instancia independiente de plataforma del metamodelo de ecosistema de aprendizaje a una instancia del metamodelo de ecosistema de aprendizaje específico de plataforma. La Figura 59 muestra los resultados de las diferentes fases y la relación entre los modelos, concretamente, la transformación de PIM a PSM.

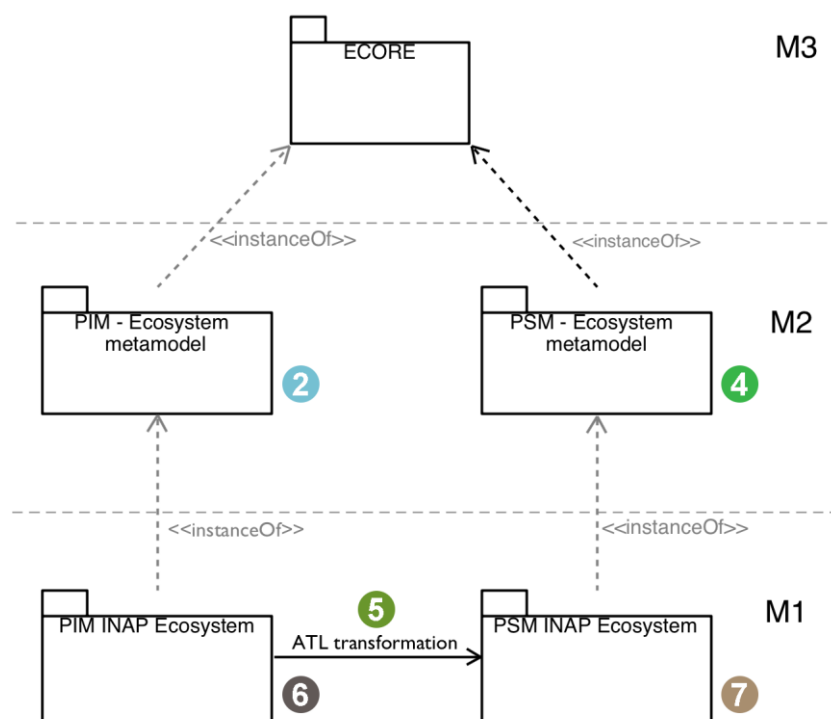


Figura 59. Modelos y transformaciones como resultado de las fases de validación en la arquitectura de cuatro capas propuesta por OMG. Modelos (M1), metamodelos (M2) y Meta-metamodelos (M3). Fuente: Elaboración propia

La transformación se lleva a cabo utilizando un conjunto de reglas definidas con ATL. Cada regla define una correspondencia entre los elementos del PIM y los del PSM, es decir, desde los elementos conceptuales hasta elementos específicos tales como componentes *software open source*, documentos, detalles técnicos para implementar los mecanismos de comunicación entre componentes, etc.

En la sexta fase se instancia el metamodelo de ecosistema de aprendizaje a fin de obtener un modelo de ecosistema real, concretamente uno de los ecosistemas utilizados

en los casos de estudio descritos en la sección anterior, el ecosistema tecnológico para la gestión del conocimiento en la Administración Pública española. El modelo sirve como mapa conceptual para definir la implementación del ecosistema tecnológico. Durante la séptima fase, las reglas de transformación toman este modelo como entrada y proporcionan una instancia del metamodelo de ecosistema de aprendizaje específico de la plataforma como resultado.

Finalmente, se ha verificado la calidad de los metamodelos en Ecore, tanto del metamodelo de ecosistema de aprendizaje como del metamodelo específico de plataforma. Se ha utilizado el mismo *framework* de calidad que en la primera fase del proceso de validación.

Se han creado tres proyectos en EMF como parte del proceso de validación. Todos los archivos fuente están disponibles en un repositorio en GitHub <https://github.com/aliciagh/ecometamodel>. En particular, se puede acceder a la versión utilizada en la presente tesis doctoral a través de <http://doi.org/10.5281/zenodo.1284567> [327].

5.3.2 Metamodelo Ecore

La validación del metamodelo de ecosistema de aprendizaje se lleva a cabo utilizando las herramientas de modelado proporcionadas por Eclipse. Por esta razón, es necesaria la transformación del metamodelo de MOF a Ecore. El proceso de transformación se ha realizado de forma manual. Para evitar confusiones, se utiliza el prefijo “MOF” para conceptos en MOF y el prefijo “E” para conceptos en Ecore.

Los componentes principales del metamodelo en MOF son clases (*MOFClass*), atributos (*MOFAttribute*) y asociaciones (*MOFAssociation*). Estos elementos también aparecen en el metamodelo Ecore, las clases están representadas por un componente *EClass*, los atributos por un componente *EAttribute* y las asociaciones por un componente *EReference*.

La transformación se ha iniciado con el mapeo de cada *MOFClass* en *EClass*. Además, se han incluido tres nuevas clases en Ecore para mejorar el metamodelo. Estos cambios han sido consecuencia de la retroalimentación proporcionada por las diferentes fases que componen el proceso de validación (Figura 58), con especial atención al análisis de calidad realizado en la primera versión del metamodelo. Los nuevos componentes de *EClass* se describen a continuación:

- Una nueva herramienta *software* para modelar herramientas de indexación orientadas a mejorar el descubrimiento de conocimiento y los procesos de búsqueda en los ecosistemas tecnológicos. Este nuevo componente, *IndexingService*, se agrega a la jerarquía como una subclase de la *EClass Infrastructure*.
- Una nueva herramienta *software* para sustituir la *MOFClass* “...” porque los puntos suspensivos están prohibidos en los nombres de *EClass*. La nueva *EClass* es *OtherSystemTool*. Representa otros tipos de componentes *software* que no se describen en la jerarquía. Esto permite que el metamodelo pueda evolucionar.
- Una nueva *EClass* para modelar los mecanismos para implementar los flujos de información en un ecosistema tecnológico. La *MOFClass InformationFlow* se transforma en una *EClass* que representa los flujos entre las herramientas *software*, ya sea a través de la interacción humana o mediante desarrollo *software*. La nueva clase *CommunicationMechanism* modela las soluciones tecnológicas para establecer los flujos de información. Es una superclase con dos subclases, una para modelar servicios y otra para utilizar archivos de configuración o propiedades. Esta nueva jerarquía facilita la extensión de los mecanismos de comunicación.

Después, cada *MOFAttribute* se ha mapeado en un *EAttribute*. En cuanto a los atributos, hay varias diferencias entre las versiones MOF y Ecore del metamodelo, en particular, hay una buena práctica en Ecore relacionada con el componente *EClass*: cada *EClass* debe tener un atributo identificador único. Esta característica es obligatoria si se necesita crear instancias del modelo y/o aplicar reglas de transformación, ya que la herramienta deberá identificar inequívocamente cada *EClass*. Concretamente, se ha agregado un *EAttribute* nombre o título a: *InformationFlow*, *CommunicationMechanism*, *ServiceInterface* y *ServiceOperation*. Las otras *EClasses* heredan el identificador de sus superclases.

Además, se han incluido otros *EAttributes* en el metamodelo en Ecore en función de la retroalimentación obtenida después de las fases de transformación entre instancias del metamodelo de ecosistema de aprendizaje y las instancias específicas de plataforma (Figura 58). En particular, hay cierta información que debe proporcionarse en una instancia de una *EClass* en el PIM para decidir cómo convertirlo en una *EClass* concreta en el PSM. Los nuevos *EAttributes* se han agregado *ExternalTool*, *InternalTool* y *User*, las

clases que representan los servicios principales proporcionados a los usuarios. En la *EClass ExternalTool*, dos nuevos *EAttributes* relacionados con la conexión entre el ecosistema y la herramienta externa (*ExternalTool.id*, *ExternalTool.key*). En *InternalTool*, tres nuevos *EAttributes* para determinar algunas características relacionadas con las necesidades de información: complejidad de los contenidos (*InternalTool.complexContentType*), uso de cuestionarios o encuestas (*InternalTool.questionnaire*) y uso para la enseñanza (*InternalTool.teaching*). Por último, en *User*, un nuevo *EAttribute* para distinguir el rol del usuario en la institución, en concreto, un *EAttribute* de tipo *userType*, una nueva *EEnum* agregada al metamodelo.

Finalmente, las asociaciones entre las diferentes clases se han transformado en referencias, es decir, cada *MOFAssociation* se ha mapeado en una *EReference*. Este proceso ha sido más complicado porque en el metamodelo del ecosistema de aprendizaje las asociaciones MOF no tienen definida la navegabilidad. En cambio, Ecore admite referencias unidireccionales y bidireccionales y es obligatorio definir la navegabilidad y un nombre único para cada *EReference*. Además, los límites superior e inferior de las *EReferences* han sido revisados y se han realizado algunos cambios: el límite inferior de la *EReference configConsumer* es 0 en lugar de 1 para no forzar que todos los archivos de propiedades (*Property*) sean consumidos por al menos una herramienta *software*; y el límite inferior de la *EReference establishedMethodology* es 0 en lugar de 1 para no obligar a todos los usuarios a establecer al menos una metodología.

La Figura 60 muestra el resultado del proceso de mapeo de MOF a Ecore y los cambios realizados para soportar las transformaciones M2M en EMF. La versión final del metamodelo de ecosistema de aprendizaje en Ecore está disponible en alta resolución en el siguiente enlace <https://doi.org/10.5281/zenodo.1066369>.

La primera versión del metamodelo de ecosistema de aprendizaje tiene cuatro restricciones OCL que se utilizan para garantizar la correcta instanciación del metamodelo. La versión MOF incluye las restricciones como notas en el diagrama, en cambio, el OCLinEditor proporcionado por EMF permite incluir las restricciones OCL como parte del código del metamodelo. Las restricciones OCL en un modelo de Ecore se verifican automáticamente cuando se intenta crear una instancia del metamodelo.

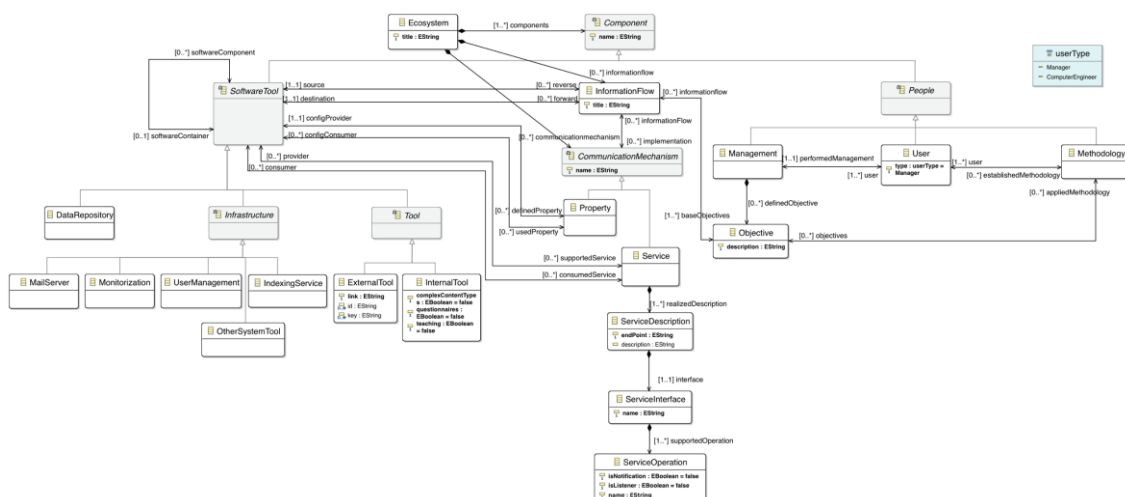


Figura 60. Metamodelo de ecosistema de aprendizaje en Ecore. Fuente: Elaboración propia

Durante la tercera fase del proceso de validación (Figura 58), las restricciones OCL se han revisado e incluido en el metamodelo. En particular, se han definido ocho nuevas restricciones OCL y se han modificado dos de las restricciones anteriores.

La restricción principal garantiza los componentes que deberían ser parte de un ecosistema de aprendizaje. Estos componentes se definen en el patrón arquitectónico en el que se basa el metamodelo. La restricción garantiza que cada instancia del metamodelo tenga un servidor de correo, un sistema de gestión de usuarios y al menos un flujo de entrada de gestión, un flujo de entrada de metodología, un usuario, una herramienta interna y un sistema de monitorización. El último, el requisito del sistema de monitorización ha cambiado desde la primera versión. La restricción definida inicialmente solo permite una herramienta de monitorización, pero la restricción se ha modificado para permitir más de una. Esto se debe a que a veces hay varias herramientas de monitorización que forman parte de otros componentes y que, combinadas, proporcionan la monitorización del ecosistema, tal y como ocurre en el segundo caso de estudio del metamodelo en MOF. A continuación, se muestra la restricción modificada:

```
context Ecosystem invariant requiredComponents:
  self.components -> select(c |
    c.oclIsTypeOf(MailServer)) -> size() = 1
  and self.components -> select(c |
    c.oclIsTypeOf(Monitorization)) -> notEmpty()
  and self.components -> select(c |
    c.oclIsTypeOf(UserManagement)) -> size() = 1
```

```

and self.components -> select(c |
    c.oclIsTypeOf(InternalTool)) -> notEmpty()
and self.components -> select(c |
    c.oclIsTypeOf(Management)) -> notEmpty()
and self.components -> select(c |
    c.oclIsTypeOf(Methodology)) -> notEmpty()
and self.components -> select(c |
    c.oclIsTypeOf(User)) -> notEmpty();

```

La segunda restricción modificada está relacionada con los flujos de información. Asegura que una herramienta *software* no pueda consumir un servicio proporcionado por ella misma, es decir, un flujo de información siempre involucra dos herramientas *software* diferentes. En la versión en Ecore, la parte técnica de los flujos de información ha sido representada por mecanismos de comunicación que abarcan servicios y propiedades. La restricción se ha modificado para incluir las propiedades, es decir, si una herramienta *software* define una propiedad, esta no puede ser utilizada por la misma herramienta *software*:

```

context SoftwareTool invariant differentService:
    self.consumedService -> forAll(k |
        provider -> forAll(j | j <> self));

context SoftwareTool invariant differentConfig:
    self.usedProperty -> forAll(k |
        k.configProvider <> self);

```

Con respecto a las nuevas restricciones, hay cinco destinadas a limitar las relaciones entre los componentes en un ecosistema de aprendizaje. Por un lado, una herramienta *software* no puede contenerse directamente o de forma transitiva, es decir, hay que evitar que una herramienta *software* se contenga a sí misma. Por otro lado, una herramienta externa no puede contener o ser contenedor de otras herramientas *software* y un repositorio de datos no puede ser un componente de otra herramienta *software*. Estas restricciones son las siguientes:

```

context SoftwareTool invariant ownContainer:
    self.softwareComponent -> forAll(k | k <> self);

```

```

context DataRepository
invariant independentExternalTool1:
    self.softwareComponent -> forAll(k |
        not k.oclIsTypeOf(ExternalTool));

context InternalTool
invariant independentRepo_ExternalTool2:
    self.softwareComponent -> forAll(k |
        not k.oclIsTypeOf(DataRepository))
    and self.softwareComponent -> forAll(k |
        not k.oclIsTypeOf(ExternalTool));

context ExternalTool
invariant independentExternalTool2:
    self.softwareComponent -> forAll(k |
        not k.oclIsKindOf(Infrastructure)) and
    self.softwareComponent -> forAll(k |
        not k.oclIsTypeOf(DataRepository)) and
    self.softwareComponent -> forAll(k |
        not k.oclIsTypeOf(InternalTool));

context Infrastructure
invariant independentRepo_ExternalTool1:
    self.softwareComponent -> forAll(k |
        not k.oclIsTypeOf(DataRepository))
    and self.softwareComponent -> forAll(k |
        not k.oclIsTypeOf(ExternalTool));

```

Finalmente, existen dos restricciones para garantizar que haya al menos un flujo de información entre dos herramientas *software* cuando estas dos herramientas se comunican a través de un servicio o una propiedad:

```

context SoftwareTool
invariant servicewithInformationFlow:
    self.consumedService -> isEmpty() or
    self.consumedService -> forAll(k |
        k.informationFlow -> exists(j |
            j.source = self and k.provider -> exists(m |

```

```
m = j.destination));
```

```
context SoftwareTool
invariant propertywithInformationFlow:
    self.usedProperty -> isEmpty() or
    self.usedProperty -> forAll(k |
        k.informationFlow -> exists(j |
            j.source = self and
            j.destination = k.configProvider));
```

Las dos restricciones OCL restantes son las que provienen de la primera versión del metamodelo y que permanecen igual en el metamodelo en Ecore. Por un lado, la restricción para asegurar que el punto de acceso a los servicios sea único en todo el sistema. Por otro lado, la restricción para que el servidor de correo al menos proporcione una propiedad:

```
context ServiceDescription invariant endpointUnique:
    self.allInstances() -> forAll (p1,p2 |
        p1 <> p2 implies p1.endPoint <> p2.endPoint);

context MailServer invariant propertyRequired:
    self.definedProperty -> notEmpty();
```

El código del metamodelo junto con las restricciones OCL está disponible en <http://doi.org/10.5281/zenodo.1284567> [327].

5.3.3 Metamodelo específico de plataforma para ecosistemas de aprendizaje

El metamodelo de ecosistema de aprendizaje proporciona un mapa conceptual para definir ecosistemas de aprendizaje, pero no contiene información concreta de soluciones tecnológicas reales y factores humanos para implementar el ecosistema. Para validar este metamodelo es necesario verificar que las instancias del metamodelo de ecosistema de aprendizaje se correspondan con el despliegue del ecosistema de aprendizaje en un contexto real. Por tanto, es necesario definir un PSM en el nivel M2 de la arquitectura de cuatro capas de OMG. La cuarta fase del proceso de validación se centra en la definición de este metamodelo (Figura 59).

Un PSM proporciona información sobre la tecnología concreta que se utiliza para realizar el modelo en una plataforma específica y, por tanto, posiblemente contenga

elementos que son específicos de la plataforma. El metamodelo específico de plataforma para definir ecosistemas de aprendizaje proporciona las pautas, las herramientas *software* y los mecanismos tecnológicos y humanos para implementar el ecosistema de aprendizaje definido inicialmente como una instancia del metamodelo de ecosistema de aprendizaje.

La definición de este PSM se basa en dos pilares. Por un lado, el metamodelo de ecosistema de aprendizaje que proporciona un marco para definir soluciones específicas para los diferentes conceptos definidos en el metamodelo. Por otro lado, la experiencia adquirida en la última década desarrollando ecosistemas tecnológicos basados en *software open source*. Destacar el ecosistema para apoyar la gestión del conocimiento y los procesos de aprendizaje en la Universidad de Salamanca [328], el ecosistema de gestión del aprendizaje informal en instituciones o empresas desarrollado como parte del proyecto europeo “Tagging, Recognition and Acknowledgment of Informal Learning Experiences” (TRAILER) [71-74] y el ecosistema para la gestión del conocimiento en la Administración Pública Española [100, 168, 278, 303].

Los requisitos de alto nivel del metamodelo específico de plataforma son los siguientes:

- El metamodelo debe proporcionar herramientas *software* concretas para respaldar la infraestructura, la gestión de datos y los servicios que pueden ser parte de un ecosistema de aprendizaje.
- El metamodelo permitirá la inclusión del factor humano como parte del ecosistema de aprendizaje.
- El metamodelo permitirá capturar las soluciones tecnológicas para implementar los flujos de información entre las herramientas del ecosistema de aprendizaje.
- El metamodelo debe usar soluciones de código abierto.

Un ecosistema de aprendizaje se compone de una colección de tres tipos de componentes, herramientas *software*, documentos y personas, representados por las clases abstractas *SoftwareTool*, *Document* y *People*, respectivamente.

Las herramientas *software* están organizadas en una estructura jerárquica que proporciona las diferentes herramientas *open source* para implementar la infraestructura, la gestión de datos y los servicios de un ecosistema de aprendizaje. La jerarquía permite la evolución del metamodelo, está preparado para extenderse con otras herramientas *open source*. El metamodelo incluye las siguientes herramientas:

- *DSpace* para dar soporte a la gestión de documentos.
- Servicios de infraestructura para la administración de usuarios (*CASoverLDAP*), la monitorización (*Prometheus*), la indexación de información (*ApacheSolr*) y el envío de correo electrónico (*Hakara*).
- Un conjunto de servicios que representan la conexión del ecosistema de aprendizaje con las redes sociales tales como *Twitter* o *Facebook*.
- Un conjunto de servicios para gestionar el conocimiento y el aprendizaje: *WordPress*, *Drupal*, *Moodle*, *LimeSurvey*.
- Una manera de representar las herramientas *software* que son parte de otras herramientas a través del concepto *Plugin*.

El factor humano se modela a través de las *EClasses* *Document* y *People*. En cuanto a las personas, los usuarios no se modelan en el metamodelo, solo las personas que influyen directamente en la definición y evolución de los ecosistemas de aprendizaje se modelan, concretamente, los gerentes (*Manager*) y coordinadores o directores de Tecnología de la información (TI) (*ITManager*). Estos conceptos no son sinónimos de una persona, pueden representar un grupo de trabajo o un departamento. En cuanto a los documentos, hay dos conceptos que representan la metodología (*MethodologyDocument*) y la gestión (*ManagementPlan*) requeridas como entrada en un ecosistema tecnológico de acuerdo con el patrón arquitectónico propuesto. Existen asociaciones entre *MethodologyDocument* y *People*, para modelar quién establece la metodología, y entre *ManagementPlan* y *People*, para indicar quién realiza la gestión.

Finalmente, el tercer elemento principal en un ecosistema de aprendizaje, la relación entre los componentes está modelada por las *EClasses* *CommunicationSolution* y *Dependency*. Desde un punto de vista tecnológico, los flujos de información entre componentes están modelados por una solución de comunicación, en este caso *CommunicationSolution* es una *EClass* abstracta con dos subclases, una que representa el flujo de información a través de ficheros de configuración o propiedades (*File*) y otra que utiliza servicios web RESTful (*RESTfulAPI*). Al igual que otras partes del metamodelo, está preparado para extenderse, para evolucionar, se pueden agregar otras formas de implementar la comunicación entre dos herramientas *software*, por ejemplo, SOAP [329]. El objetivo de los metamodelos descritos en este trabajo no es proporcionar una solución detallada para los servicios web modelo, hay varios autores en la literatura

que proporcionan buenas soluciones para modelar esa parte del ecosistema [320, 321, 329].

Además, hay flujos de información entre componentes que no están establecidos por una solución tecnológica, sino por una persona. Para modelar este concepto, existe un *EClass*, *Dependency*, que se utiliza para documentar las relaciones entre los componentes en el ecosistema de aprendizaje.

La Figura 61 muestra la versión final del PSM en Ecore. Además, una versión en alta resolución está disponible en el siguiente enlace <http://doi.org/10.5281/zenodo.1252185>.

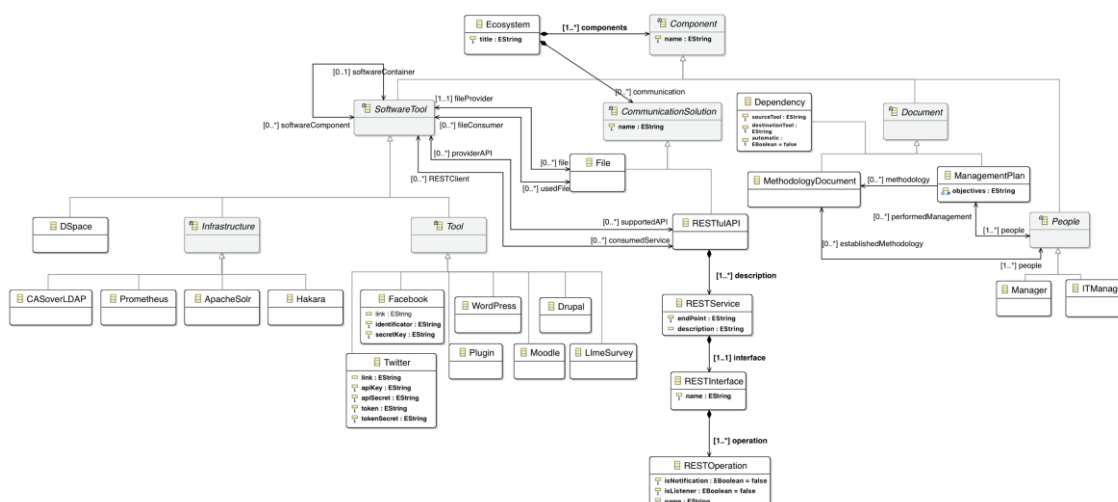


Figura 61. Metamodelo específico de plataforma para definir ecosistemas de aprendizaje basados en software open source. Fuente: Elaboración propia

El metamodelo se completa con cinco restricciones OCL para garantizar la correcta instanciación de modelos de ecosistema de aprendizaje basado en *software open source*. Se pueden consultar en <http://doi.org/10.5281/zenodo.1284567> [327].

Destacar la restricción para asegurar que un *Plugin* está contenido en otra herramienta *software* y que a su vez no contiene otras herramientas:

```
invariant pluginNotContentOthers:
    self.softwareComponent -> isEmpty() and
    self.softwareContainer -> notEmpty();
```

El resto de las restricciones se asemejan a las mencionadas en el metamodelo independiente de plataforma.

5.3.4 Transformación de PIM a PSM

El proceso de validación del metamodelo de ecosistema de aprendizaje implica una transformación de instancias de PIM a PSM, es decir, de los conceptos definidos en el

metamodelo de ecosistema de aprendizaje a soluciones específicas proporcionadas por el metamodelo descrito en la sección anterior.

La transformación se lleva a cabo utilizando un conjunto de reglas definidas con ATL. ATL es un lenguaje para expresar transformaciones entre modelos; es un lenguaje híbrido, una mezcla de construcciones declarativas e imperativas diseñadas para expresar la transformación del modelo como lo requiere cualquier enfoque MDA [330].

La transformación ATL disponible en [327] proporciona una definición formal y detallada de la traducción desde un modelo instanciado del metamodelo de ecosistema de aprendizaje a las soluciones específicas de plataforma. La Tabla 19, la Tabla 20 y la Tabla 21 muestran la lógica que subyace a las transformaciones de PIM a PSM.

Tabla 18. Valor lógico que toma cada atributo de *InternalTool* para transformarse en una de las cuatro herramientas Open Source disponibles

Herramienta <i>open source</i>	<i>complexContentType</i>	<i>questionnaire</i>	<i>teaching</i>
Moodle	-	-	true
LimeSurvey	false	true	false
WordPress	false	false	false
Drupal	true	-	false

Básicamente, en la transformación relacionada con las herramientas *software* (Tabla 19), cada concepto se transforma en herramientas *open source*, por ejemplo, repositorio de datos en DSpace (<http://www.duraspace.org/dspace>), sistema de monitorización en Prometheus (<https://prometheus.io>), o herramienta de gestión de usuarios en una combinación de CAS (<https://www.apereo.org/projects/cas>) y OpenLDAP (<https://www.openldap.org>). En cuanto a las herramientas internas, se utiliza un conjunto de atributos lógicos para transformarlas en diferentes soluciones (Tabla 18). En particular, los atributos indican la complejidad de los contenidos (*InternalTool.complexContentType*), la necesidad de cuestionarios o encuestas (*InternalTool.questionnaire*) y si se utilizará principalmente para la enseñanza (*InternalTool.teaching*).

En cuanto a la transformación relacionada con el factor humano como parte de un ecosistema (Tabla 20), cada usuario se transforma en un gerente o un coordinador de TI según el atributo *User.type*, cada concepto de gestión en un plan de gestión, cada metodología en un documento con la metodología y los objetivos en un atributo del plan de gestión.

Tabla 19. Correspondencia de la transformación de las herramientas software

PIM (metamodelo de ecosistema de aprendizaje)	PSM (PSM para definir ecosistemas de aprendizaje)
Herramientas <i>software</i>	
Ecosystem	Ecosystem
DataRepository	DSpace
MailServer	Hakara
Monitorization	Prometheus
UserManager	CASoverLDAP
IndexingService	ApacheSolr
InternalTool	Moodle
	LimeSurvey
	WordPress
	Drupal
ExternalTool	Facebook
	Twitter
SoftwareTool	Plugin

Tabla 20. Correspondencia de la transformación del factor humano

PIM (metamodelo de ecosistema de aprendizaje)	PSM (PSM para definir ecosistemas de aprendizaje)
Factor humano	
User	Manager
	ITManager
Management	ManagementPlan
Methodology	MethodologyDocument
Objective	ManagementPlan.objectives

Finalmente, con respecto a los conceptos relacionados con los flujos de información, cada flujo de información se transforma en una dependencia, cada propiedad en un archivo, cada servicio en una API RESTful compuesta por un conjunto de servicios REST, interfaces y operaciones (Tabla 21).

Tabla 21. Correspondencia de la transformación de los flujos de información

PIM (metamodelo de ecosistema de aprendizaje)	PSM (PSM para definir ecosistemas de aprendizaje)
Flujos de información	
InformationFlow	Dependency
Property	File
Service	RESTfulAPI
ServiceDescription	RESTService

ServiceInterface
ServiceOperation

RESTInterface
RESTOperation

5.3.5 Caso de estudio

Para completar el proceso de validación es necesario verificar que el metamodelo de ecosistema de aprendizaje permita definir ecosistemas de aprendizaje reales de acuerdo con el patrón arquitectónico definido y probado en el presente trabajo de investigación. Para ello, las instancias del metamodelo de ecosistema de aprendizaje deben ser recíprocas al despliegue del ecosistema en un entorno real. Las fases sexta y séptima del proceso de validación se centran en llevar a cabo una transformación M2M utilizando las herramientas proporcionadas por EMF.

Primero, el metamodelo de ecosistema de aprendizaje ha sido instanciado para modelar una versión reducida de uno de los ecosistemas reales utilizados como casos de estudio en la primera versión del metamodelo, en particular, el ecosistema de aprendizaje de la Administración Pública española, también denominado ecosistema de aprendizaje del INAP [100, 168, 278, 303]. La instancia incluye todas las herramientas *software* y factores humanos del ecosistema, pero no incluye todos los flujos de información, solo un servicio para implementar inicio de sesión único, una propiedad relacionada con la configuración del servidor de correo y los flujos de información asociados. El modelo no incluye todos los servicios, propiedades y flujos de información para simplificar el caso de estudio y enfocarse en el objetivo de validación. La Figura 62 muestra la instancia.

Después, la transformación ATL toma el modelo instanciado como entrada y proporciona como salida una instancia del metamodelo de ecosistema de aprendizaje específico de plataforma. El resultado se muestra en la parte derecha de la Figura 62. El modelo resultante coincide con la implementación del ecosistema. Además, ambos modelos cumplen las restricciones OCL definidas como parte de los correspondientes metamodelos.

El caso de estudio demuestra que el metamodelo de ecosistema de aprendizaje permite definir un modelo de ecosistema de aprendizaje real.

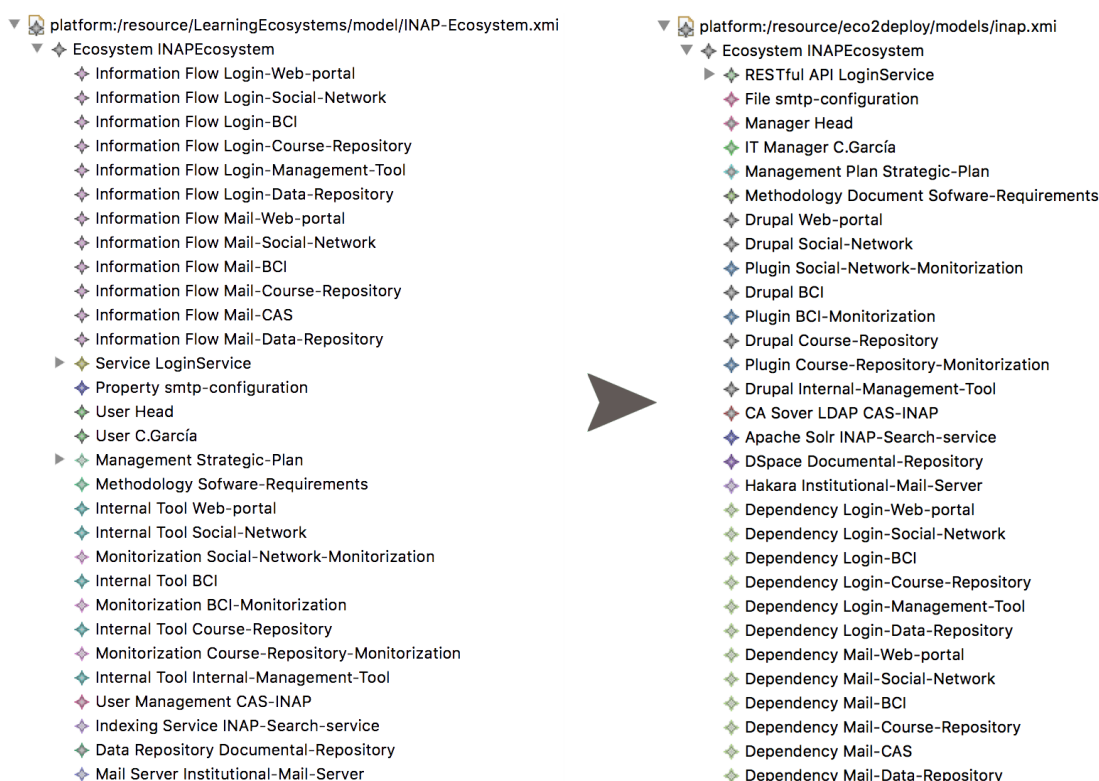


Figura 62. Instancia del metamodelo de ecosistema de aprendizaje e instancia obtenida tras aplicar la transformación ATL. Fuente: Elaboración propia

5.3.6 Calidad de los metamodelos

El proceso de validación tiene dos fases destinadas a evaluar la calidad de los metamodelos. Concretamente, la primera fase se centra en la evaluación de la calidad de la versión MOF del metamodelo de ecosistema de aprendizaje; y la última fase asegura la calidad de los dos metamodelos definidos durante la validación, la versión Ecore del metamodelo de ecosistema de aprendizaje y el metamodelo específico de plataforma para definir ecosistemas de aprendizaje basados en *software open source*.

Todas las evaluaciones de calidad se han verificado de acuerdo con el *framework* de calidad propuesto por López-Fernández et al. [87]. Los autores proponen un conjunto de treinta características que corresponden básicamente a reglas sintácticas que deben seguir los metamodelos (Tabla 22). Sus características se clasifican en fallos de diseño, buenas prácticas, convenciones de nomenclatura y métricas.

Tabla 22. Características del marco para comprobar la calidad propuesto por [87]

Design	
D01	An attribute is not repeated among all specific classes of a hierarchy.
D02	There are no isolated classes (i.e., not involved in any association or hierarchy).

D03	No abstract class is super to only one class (it nullifies the usefulness of the abstract class).
D04	There are no composition cycles.
D05	There are no irrelevant classes (i.e., abstract and subclass of a concrete class).
D06	No binary association is composite in both member ends.
D07	There are no overridden, inherited attributes.
D08	Every feature has a maximum multiplicity greater than 0.
D09	No class can be contained in two classes, when it is compulsorily in one of them.
D10	No class contains one of its superclasses, with cardinality 1 in the composition end (this is not finitely satisfiable).

Best practices

BP01	There are no redundant generalization paths.
BP02	There are no uninstantiable classes (i.e., abstract without concrete children).
BP03	There is a root class that contains all others (best practice in EMF).
BP04	No class can be contained in two classes (weaker version of property D09).
BP05	A concrete top class with subclasses is not involved in any association (the class should be probably abstract).
BP06	Two classes do not refer to each other with non-opposite references (they are likely opposite).

Naming conventions

N01	Attributes are not named after their feature class (e.g., an attribute paperID in class Paper).
N02	Attributes are not potential associations. If the attribute name is equal to a class, it is likely that what the designer intends to model is an association.
N03	Every binary association is named with a verb phrase.
N04	Every class is named in pascal-case, with a singular-head noun phrase.
N05	Element names are not too complex to process (i.e., too long).
N06	Every feature is named in camel-case.
N07	Every non-boolean attribute has a noun-phrase name.
N08	Every boolean attribute has a verb-phrase (e.g., isUnique).
N09	No class is named with a synonym to another class name.

Metrics

M01	No class is overloaded with attributes (10-max by default)
M02	No class refers to too many others (5-max by default) – a.k.a. efferent couplings (Ce).
M03	No class is referred from too many others (5-max by default) – a.k.a. afferent couplings (Ca).
M04	No hierarchy is too deep (5-level max by default) – a.k.a. depth of inheritance tree (DIT).
M05	No class has too many direct children (10-max by default) – a.k.a. number of children (NOC).

La primera versión del metamodelo no cumplía con las características D03 (*Ninguna clase abstracta es superclase de una sola clase*) y BP03 (*Existe una clase padre que contiene todas las demás*). La versión MOF del metamodelo tiene una clase abstracta, *InformationFlow*, que era una superclase de una sola clase, *Service*. En la versión Ecore del metamodelo, para cumplir con la característica D03, la clase *Property* se ha incluido en la jerarquía de *InformationFlow*. Además, la clase *InformationFlow* se ha dividido en dos clases, una con el mismo nombre que representa la comunicación entre dos herramientas y otra llamada *CommunicationMechanism* para describir el mecanismo *software* utilizado para establecer esa comunicación en caso de que exista.

Con respecto a la característica BP03, hay una clase en el metamodelo en MOF, *Ecosystem*, que contiene todas las clases excepto dos, *Property* y *InformationFlow*. La versión Ecore del metamodelo tiene dos nuevas asociaciones de composición, una entre la clase padre y *InformationFlow* y otra entre la clase padre y la nueva clase *CommunicationMechanism*.

El metamodelo del ecosistema de aprendizaje instanciado de Ecore cumple con las treinta características que componen el marco. Destacar las métricas:

- M01. El máximo número de atributos en una clase del metamodelo es 4.
- M02. Las clases que establecen relaciones con un mayor número de clases son *InformationFlow*, *SoftwareTool* y *Ecosystem* con un Ce de 3.
- M03. Las clases más referenciadas por otras clases son *InformationFlow* con un Ca de 4, y *SoftwareTool* y *Objective* con un Ca de 3.
- M04. La jerarquía más profunda tiene un DIT de 4, es la que se corresponde con la clase padre *Component*.
- M05. La clase con más hijos es *Infrastructure* con un valor de NOC igual a 5.

El metamodelo específico de la plataforma definido como parte del proceso de validación también cumple con las treinta características. Las métricas asociadas a este metamodelo son:

- M01. El máximo número de atributos en una clase es 4.
- M02. Las clases con un Ce más alto son *Ecosystem*, *SoftwareTool*, *ManagementPlan* y *People* con un valor de 2.
- M03. Las clases con un Ca más alto son *SoftwareTool*, *Methodology* y *People* con un valor de 2.

- M04. Las clases con el mayor DIT, 4, son las clases más distanciadas de la clase *Component* dentro de la jerarquía.
- M05. La clase con más hijas es *Tool*, con un NOC de 6.

Por tanto, según este *framework* de calidad, los metamodelos definidos en Ecore, tanto el PIM como el PSM, cumplen todos los criterios de calidad.

5.4 Conclusiones

El presente trabajo de investigación tiene entre sus principales objetivos la definición y validación de un metamodelo para permitir el desarrollo dirigido por modelos de los ecosistemas de aprendizaje. Dicho metamodelo debe permitir, por un lado, definir ecosistemas de aprendizaje acordes al patrón arquitectónico definido en el capítulo anterior y, por otro lado, proporcionar las pautas necesarias para definir este tipo de soluciones tecnológicas utilizando *software open source*.

La primera versión del metamodelo se ha definido como un modelo independiente de la plataforma a partir del estándar MOF. Para garantizar la solidez y confiabilidad del metamodelo para definir ecosistemas de aprendizaje, ha sido necesario validarlo. En primer lugar, se han llevado a cabo dos casos de estudio en contextos reales de tal forma que se han realizado dos transformaciones M2M para probar que el metamodelo permite definir ecosistemas de aprendizaje reales. Estas validaciones preliminares se han realizado manualmente porque no hay herramientas estables que respalden los estándares definidos por OMG. Por este motivo, el metamodelo se ha redefinido utilizando Ecore para poder utilizar las herramientas de modelado proporcionadas por Eclipse.

El proceso de validación compuesto por ocho fases no solo cubre la validación, sino que también garantiza la calidad del metamodelo. Por un lado, se ha aplicado un *framework* de calidad a los tres metamodelos involucrados en el proceso. Por otro lado, algunas fases se han utilizado para revisar y mejorar el metamodelo de ecosistema de aprendizaje en Ecore.

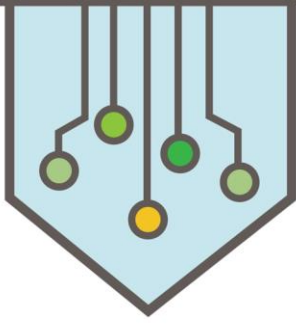
La definición y el posterior proceso de validación han dado lugar a varios resultados que permiten alcanzar el objetivo de la presente tesis doctoral. En primer lugar, el metamodelo de ecosistema de aprendizaje (Figura 60). Se toma como referencia la versión en Ecore debido a que resuelve todos los problemas detectados durante la validación e incorpora mejoras para asegurar la calidad.

En segundo lugar, el metamodelo específico de plataforma para definir ecosistemas de aprendizaje (Figura 61), el cual proporciona un conjunto de recomendaciones, tanto tecnológicas como humanas, para implementar ecosistemas de aprendizaje basados en *software open source*.

Finalmente, la transformación ATL utilizada para transformar instancias del metamodelo de ecosistema de aprendizaje en instancias del metamodelo específico de la plataforma.

El metamodelo permite definir modelos que se corresponden a ecosistemas de aprendizaje reales basados en el patrón arquitectónico descrito en el Capítulo 4. Todos los elementos del modelo obtenidos tras aplicar la transformación ATL coinciden con la implementación del ecosistema real seleccionado como caso de estudio. Además, las restricciones definidas en ambos metamodelos se cumplen.

El metamodelo específico de plataforma para definir ecosistemas de aprendizaje basados en *software open source* no es la única forma de desarrollar ecosistemas de aprendizaje. El metamodelo de ecosistema de aprendizaje se puede transformar en otros PSM, por ejemplo, uno que combine código abierto y *software* propietario. El único requisito es definir el PSM y las reglas de transformación correspondientes.



Capítulo 6

Conclusiones

El objetivo de este capítulo es presentar las conclusiones de la presente tesis doctoral. Para ello se parte del problema inicial y se describen las principales contribuciones del trabajo desarrollado con el fin de aceptar la hipótesis formulada al comienzo de la investigación. Esta es, la posibilidad de mejorar los procesos de definición y desarrollo de los ecosistemas tecnológicos para el aprendizaje, con el objetivo de permitir que evolucione y se adapten a las necesidades del entorno y los usuarios.

Además, se plantean una serie de líneas futuras de trabajo, ya que la presente propuesta sienta las bases para continuar la investigación en el ámbito de los ecosistemas tecnológicos centrados en la gestión del conocimiento.

El presente capítulo se organiza en cuatro secciones. En primer lugar, se presenta un resumen del trabajo de investigación desarrollado. En segundo lugar, se describen las principales contribuciones realizadas. En tercer lugar, se presentan las líneas de investigación que pueden desarrollarse a partir del presente trabajo. Finalmente, se enumeran los resultados asociados a la tesis doctoral, entre los que destacan una serie de publicaciones de impacto, una estancia doctoral y un conjunto de proyectos de investigación.

6.1 Resumen del trabajo realizado

Los ecosistemas tecnológicos son un marco general que permite definir y desarrollar cualquier tipo de solución tecnológica en la que los datos y la información son el centro del problema [331]. La metáfora de ecosistema tecnológico proviene del mundo de la biología y en los últimos años se ha transferido a otros ámbitos para representar mejor la componente evolutiva de las relaciones que tienen lugar en contextos sociales, económicos, etc. [332]. En particular, en el ámbito tecnológico se ha adaptado el concepto de ecosistema de negocios propuesto por Moore [24] y lansiti [25] con el fin de definir los ecosistemas *software* o ecosistemas tecnológicos.

Existe un gran número de definiciones de ecosistema natural, pero todas hacen referencia a tres elementos principales: los organismos o factores bióticos; las relaciones entre los organismos; y el medio físico o factores abióticos. La definición de ecosistema tecnológico propuesta en la presente tesis doctoral extrapola estos elementos al ámbito de la tecnología de tal forma que los componentes *software* y las personas que forman el ecosistema tecnológico se corresponden con los factores bióticos; los flujos de información representan o establecen las relaciones entre los organismos; y los factores abióticos son los elementos que permiten el funcionamiento del ecosistema (*hardware*, conexión de red, etc.). De esta forma, un ecosistema tecnológico es un conjunto usuarios y componentes *software* que se relacionan entre sí mediante flujos de información en un medio físico que proporciona el soporte para dichos flujos

Los ecosistemas tecnológicos se posicionan como la evolución de los sistemas de información tradicionales con dos elementos clave a destacar. En primer lugar, los ecosistemas tecnológicos tienen una fuerte componente evolutiva basada en la integración de diferentes herramientas *software* capaces de evolucionar por separado y en conjunto con el fin de adaptarse a las necesidades cambiantes del contexto. En segundo lugar, las personas son un componente fundamental del ecosistema, no solo meros usuarios que interaccionan con el sistema, sino elementos que dirigen la evolución y funcionamiento del mismo.

Los ecosistemas tecnológicos se pueden orientar a diferentes dominios, dependiendo de los problemas que resuelvan. En el ámbito educativo, los ecosistemas tecnológicos para el aprendizaje plantean una verdadera red de servicios de aprendizaje más allá de proporcionar una colección de tecnologías de moda [41-44]. Estos ecosistemas tecnológicos permiten establecer ecologías de aprendizaje, entornos de aprendizaje con

una fuerte componente interactiva que permiten el intercambio de conocimiento de manera informal y desestructurada.

A pesar de las ventajas que ofrecen los ecosistemas tecnológicos, el desarrollo de este tipo de soluciones tiene una mayor complejidad que los sistemas de información tradicionales. Los ecosistemas de aprendizaje deben ser capaces de incorporar las herramientas emergentes para la gestión del conocimiento, así como retirar aquellas que queden obsoleta o que los usuarios no utilicen. Los ecosistemas deben ser capaces de soportar el incremento de la complejidad interna para ofrecer de forma transparente más funcionalidad y más sencillez a los usuarios. Esto es, la interoperabilidad entre los diferentes componentes debe asegurar un alto grado de integración y cohesión, a la par que permitir que el ecosistema evolucione y se adapte a las necesidades cambiantes del entorno y los usuarios.

En este contexto, la presente tesis doctoral plantea como hipótesis que es posible mejorar los procesos de definición y desarrollo de los ecosistemas tecnológicos para el aprendizaje, con el objetivo de permitir que el ecosistema evolucione y se adapte a las necesidades cambiantes del entorno y de los usuarios. Estas mejoras deben permitir resolver los principales problemas asociados a los ecosistemas tecnológicos. Esta hipótesis permite plantear el objetivo principal y un conjunto de sub-objetivos que deben alcanzarse para poder afirmarla. En particular, el objetivo principal consiste en plantear una solución basada en arquitecturas *software* e ingeniería dirigida por modelos o MDE que permita mejorar los procesos de definición, desarrollo y evolución de los ecosistemas tecnológicos basados en *software open source* para la gestión del conocimiento y los procesos de aprendizaje en contextos heterogéneos.

La investigación llevada a cabo se enmarca en la metodología Investigación-Acción y a través de varios ciclos da respuesta a cada uno de los objetivos marcados, todo ello sustentado sobre un estudio del estado del arte realizado mediante una revisión sistemática. Esto ha permitido determinar un conjunto de carencias en las propuestas arquitectónicas y de ingeniería dirigida por modelos en los ecosistemas de aprendizaje y gestión del conocimiento.

Como respuesta a estas carencias y con el fin de validar la hipótesis inicial, se han desarrollado dos metamodelos de ecosistema de aprendizaje con una sólida base arquitectónica; uno centrado en modelar la parte conceptual del ecosistema, es decir, un metamodelo independiente de plataforma, y otro centrado en proporcionar las

pautas necesarias para transformar los conceptos en soluciones reales, o lo que es lo mismo un metamodelo específico de plataforma. La definición de ambos metamodelos se sustenta sobre una arquitectura de referencia definida mediante un patrón arquitectónico para definir ecosistemas de aprendizaje. Dicho patrón permite definir la arquitectura de ecosistemas de aprendizaje capaces de evolucionar en el tiempo y adaptarse a factores internos y externos a la organización, así como incorporar el factor humano inherente a los procesos de gestión del conocimiento como parte del propio ecosistema. Así mismo, el metamodelo que nace a partir de este patrón permite definir todos los elementos de ecosistemas de aprendizaje reales capaces de adaptarse a contextos heterogéneos. Finalmente, el metamodelo específico de plataforma permite transformar los conceptos en componentes *software open source*, de tal forma que la combinación de estos tres resultados permite afirmar que el objetivo principal y los sub-objetivos de la tesis doctoral se han alcanzado y, por tanto, la hipótesis planteada inicialmente es válida.

6.2 Conclusiones

El principal objetivo de la presente investigación es plantear una solución basada en arquitecturas *software* e ingeniería dirigida por modelos o MDE, que permita mejorar los procesos de definición, desarrollo y evolución de los ecosistemas tecnológicos basados en *software open source* para la gestión del conocimiento y los procesos de aprendizaje en contextos heterogéneos.

A lo largo de la investigación se han obtenido diferentes resultados que han permitido alcanzar los objetivos secundarios definidos a partir del objetivo principal mencionado, así como confirmar la hipótesis formulada.

En este sentido, las principales contribuciones de la presente tesis doctoral son tres:

- El patrón arquitectónico para definir ecosistemas de aprendizaje [[39](#), [77](#), [126](#), [136](#), [168](#), [278](#), [303](#), [332-335](#)].
- El metamodelo de ecosistema de aprendizaje [[81](#), [83](#), [84](#), [327](#), [336](#)].
- El metamodelo específico de plataforma para definir ecosistemas basados en *software open source* [[327](#), [337](#)].

En primer lugar, el patrón arquitectónico proporciona una arquitectura de referencia para definir ecosistemas tecnológicos centrados en la gestión del conocimiento y los procesos de aprendizaje en contextos heterogéneos. El patrón permite definir

ecosistemas reales que soportan la evolución a lo largo del tiempo y que incorporan el factor humano como parte del propio ecosistema, no solo como actores que interactúan con el ecosistema, sino a través de la metodología como una parte fundamental para el éxito del ecosistema.

La definición del patrón abarca dos de los tres ciclos de Investigación-Acción que se han llevado a cabo. Esto se debe a que el patrón sustenta la definición de los dos metamodelos que forman parte de las principales contribuciones de la tesis doctoral. Por este motivo, el proceso de definición del patrón incluye seis casos de estudio de ecosistemas reales en contextos heterogéneos.

Por un lado, tres casos de estudio se han utilizado para identificar los principales problemas de los ecosistemas de aprendizaje y servir de base para determinar las principales características que debe tener una solución de este tipo, es decir, las características sobre las que se sustenta la definición del patrón. Los otros tres casos de estudio se han utilizado para llevar a cabo la validación del patrón, todos ellos definidos a partir del patrón arquitectónico y enmarcados en proyectos o contratos en los que la doctoranda ha estado involucrada como parte del proceso de investigación de la tesis doctoral. Hay que destacar el último caso de estudio, el ecosistema WYRED [[123](#), [126](#)], que a pesar de que se enmarca en el segundo ciclo de Investigación-Acción, se ha llevado a cabo tras finalizar la etapa de validación del patrón, de tal forma que su objetivo ha sido ratificar la validez del patrón y aplicar todos los conocimientos adquiridos a lo largo del desarrollo de la presente tesis doctoral.

Además, el proceso de validación del patrón ha incluido la validación del propio factor humano y la necesidad de la metodología como un elemento clave del patrón. Para ello, el segundo caso de estudio desarrollado en el contexto del Programa de Doctorado Formación en la Sociedad del Conocimiento se ha transferido a dos universidades mexicanas, una privada y otra pública, para gestionar sendos programas de doctorado. En ambas implementaciones la base del ecosistema es la misma, pero han evolucionado de forma totalmente diferente. El análisis de cada uno de los ecosistemas tras varios años en explotación ha permitido determinar que la falta de metodología en los dos ecosistemas implementados en universidades mexicanas ha sido el desencadenante de la falta de actividad en dichos ecosistemas.

La segunda contribución relevante de la presente tesis doctoral es el metamodelo de ecosistema de aprendizaje. Se trata de un metamodelo definido inicialmente a partir el

estándar MOF y, posteriormente, transformado en una instancia de Ecore con el fin de utilizar procesos automatizados para la validación del metamodelo. El objetivo del metamodelo es permitir la definición de modelos de ecosistemas de aprendizaje reales basados en el patrón arquitectónico descrito previamente, de tal forma que los modelos instanciados a partir del metamodelo sirvan de guía para luego desarrollar el ecosistema tecnológico correspondiente.

El metamodelo de ecosistema de aprendizaje representa los diferentes elementos que componen un ecosistema tecnológico: los componentes tecnológicos, el factor humano y los flujos de información. Además, incorpora un conjunto de restricciones definidas en OCL que permiten asegurar el uso correcto de los diferentes conceptos definidos en el metamodelo. Cabe destacar la restricción para asegurar unos elementos mínimos en todo ecosistema, siguiendo las pautas proporcionadas por el patrón arquitectónico.

El metamodelo se ha validado con el fin de proporcionar una solución sólida y confiable. El proceso de validación compuesto por ocho fases también ha permitido garantizar la calidad del metamodelo. Por un lado, se ha aplicado un *framework* de calidad a los tres metamodelos involucrados en el proceso. Por otro lado, algunas fases se han utilizado para revisar y mejorar el metamodelo de ecosistema de aprendizaje en Ecore.

La tercera contribución es el metamodelo específico de plataforma para definir ecosistemas de aprendizaje basados en *software open source*. Este metamodelo forma parte del proceso de validación del metamodelo de ecosistema de aprendizaje, pero posee una gran relevancia para alcanzar el objetivo de la presente tesis doctoral, ya que desde el inicio se ha hecho especial énfasis en el uso de *software open source* para definir los ecosistemas de aprendizaje. El presente metamodelo específico de plataforma combinado con un conjunto de reglas de transformación definidas en ATL permite traducir los modelos de ecosistemas de aprendizaje en modelos específicos de plataforma, donde los componentes *software* del ecosistema están definidos a partir de *software open source*.

Aunque no existe una validación explícita del metamodelo específico de plataforma para ecosistemas de aprendizaje, el proceso de validación en el que está involucrado permite asegurar su validez y calidad. En este sentido, el caso de estudio realizado para concluir la validación permite afirmar que los modelos instanciados a partir del metamodelo de ecosistema de aprendizaje y, posteriormente, traducidos a instancias

del metamodelo específico de plataforma, se corresponden con ecosistemas reales definidos inicialmente a partir del patrón arquitectónico.

Ninguno de los dos metamodelos definidos y validados en la presente tesis doctoral tiene como objetivo permitir la generación automática de código. Su objetivo es servir como un mapa a la hora de implementar los ecosistemas de aprendizaje basados en *software open source*, de tal forma que el metamodelo proporcione una serie de recomendaciones acerca de los componentes que deben estar presentes en el ecosistema y los flujos de información necesarios para satisfacer la metodología.

Finalmente, aunque no se trata de una contribución directamente relacionada con el objetivo de la presente investigación, cabe destacar la revisión sistemática de la literatura llevada a cabo para determinar las revisiones y mapeos sistemáticos sobre ecosistemas *software* o ecosistemas tecnológicos realizados a lo largo de los años. Esta revisión, además de permitir identificar la necesidad de llevar a cabo la SLR descrita en el Capítulo 3, proporciona un estado de la cuestión a nivel global que abarca diferentes aspectos de los ecosistemas tecnológicos, tomando como puntos de referencia el mapeo sistemático realizado por Barbosa y Alves [53] en 2011 y la revisión sistemática realizada por Manikas y Hansen [28] en 2013 y actualizada en el 2016 [242].

Los resultados de la presente tesis doctoral no reemplazan a otras soluciones existentes en el ámbito de los ecosistemas tecnológicos o de los ecosistemas *software*. Se postulan como una solución que cubre una carencia identificada a través de la revisión sistemática de la literatura descrita en el Capítulo 3. En particular, los estudios analizados para determinar la necesidad de la revisión sistemática han permitido identificar la falta de estudios en el ámbito de la ingeniería dirigida por modelos aplicada a los ecosistemas tecnológicos y más concretamente a los ecosistemas de aprendizaje.

Además, las diferentes soluciones y estudios analizados permiten complementar la presente propuesta, de tal forma que el uso de *Key Performance Indicators* (KPI) [240], la mejora de los mecanismos de gobierno [206], la ingeniería de requisitos [244] o las soluciones o propuestas para mejorar el estado del ecosistema [241], se pueden aplicar a los ecosistemas de aprendizaje definidos a partir del patrón arquitectónico y los metamodelos de ecosistema de aprendizaje.

La presente tesis doctoral proporciona una sólida base para implantar ecosistemas tecnológicos que cubran las necesidades de gestión del conocimiento y de los procesos de aprendizaje en cualquier tipo de contexto, desde la pequeña y mediana empresa hasta instituciones públicas o grandes corporaciones. Se trata de soluciones que incorporan el factor humano como parte inherente del ecosistema y que son capaces de evolucionar para adaptarse a los cambios tanto internos como externos, lo que permite que el ciclo de vida del ecosistema sea mayor que el de los sistemas de información tradicionales.

6.3 Líneas futuras de investigación

El trabajo desarrollado en esta tesis doctoral sienta las bases para continuar la investigación relacionada con los ecosistemas de aprendizaje en particular y con los ecosistemas tecnológicos en general, ya que este tipo de soluciones *software* puede aplicarse en contextos heterogéneos para gestionar diferentes procesos de gestión del conocimiento.

En primer lugar, la posibilidad de aplicar la metodología definida en la presente investigación para adaptar el patrón arquitectónico y el metamodelo de ecosistema de aprendizaje a otros contextos, como por ejemplo la salud y el bienestar mental de las personas. En esta línea se han analizado diversos trabajos como parte de la revisión sistemática pero la aplicación del patrón y el metamodelo a este contexto se centra en la gestión de conocimiento en dichas áreas, no tanto en proporcionar un ecosistema de telemedicina o de AAL [[127](#), [128](#), [338-340](#)].

En segundo lugar, el metamodelo de ecosistema de aprendizaje proporciona una base conceptual que puede traducirse a diferentes metamodelos. El metamodelo específico de plataforma para definir ecosistemas de aprendizaje basados en *software open source* no es la única forma de desarrollar ecosistemas de aprendizaje. Se puede trabajar en la definición y validación de otros metamodelos específicos de plataforma que permitan extender la solución propuesta en esta tesis doctoral.

Por último, aunque la necesidad del factor humano como parte inherente del ecosistema, y particularmente a través de la metodología y la gestión, ha quedado patente a través de varios casos de estudio, como trabajo futuro se puede explorar el factor humano en los ecosistemas desde un punto de vista más cercano a las ciencias sociales, es decir, mediante la definición de instrumentos que permitan evaluar el

impacto de la metodología y la gestión en los ecosistemas de aprendizaje. Así mismo, estos estudios pueden servir de base para proporcionar las pautas necesarias a la hora de definir metodologías sobre las que se construya un ecosistema de aprendizaje o gestión del conocimiento.

6.4 Resultados asociados

A lo largo del desarrollo de la presente tesis doctoral se han realizado una serie de publicaciones científicas con el fin de validar la propuesta. El proceso de publicación en los diferentes medios ha permitido obtener retroalimentación por parte de expertos del área. En concreto, se han publicado 9 artículos en revistas indexadas, 22 trabajos en actas de conferencias internacionales, 1 capítulo de libro, 1 libro editado y 1 informe técnico. La Figura 63 muestra un resumen de las publicaciones organizadas por año y por tipo.

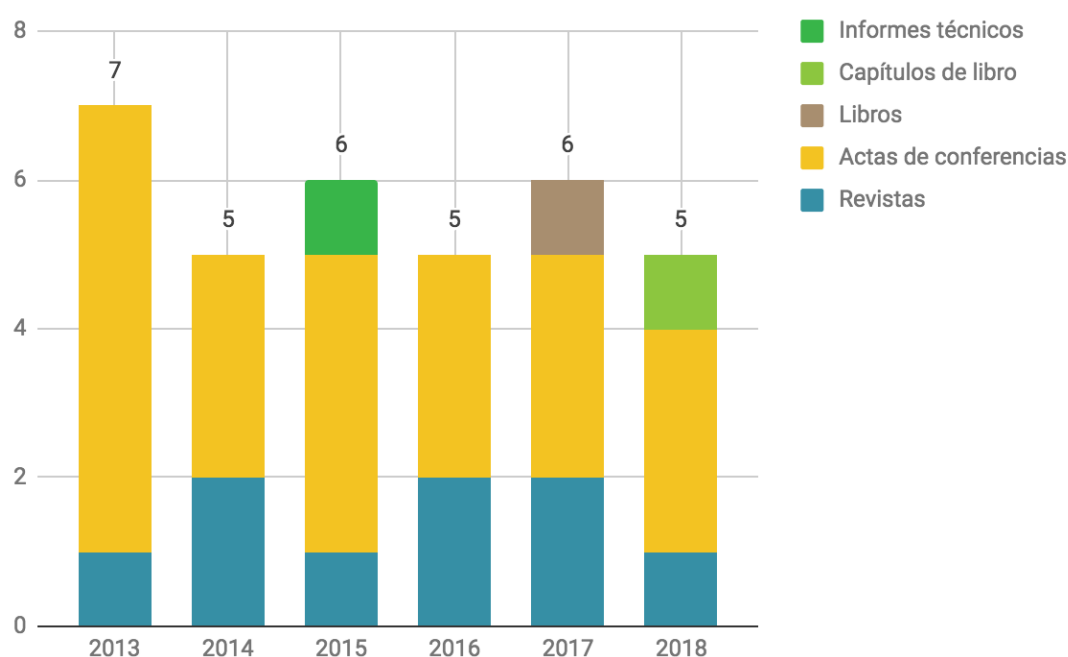


Figura 63. Producción científica asociada a la tesis doctoral organizada por año y tipo de publicaciones.
Fuente: Elaboración propia

En relación a las publicaciones en revistas, todas están indexadas en JCR o en SJR. La Figura 64 muestra la clasificación en cuartiles de las publicaciones indexadas en ambos índices.

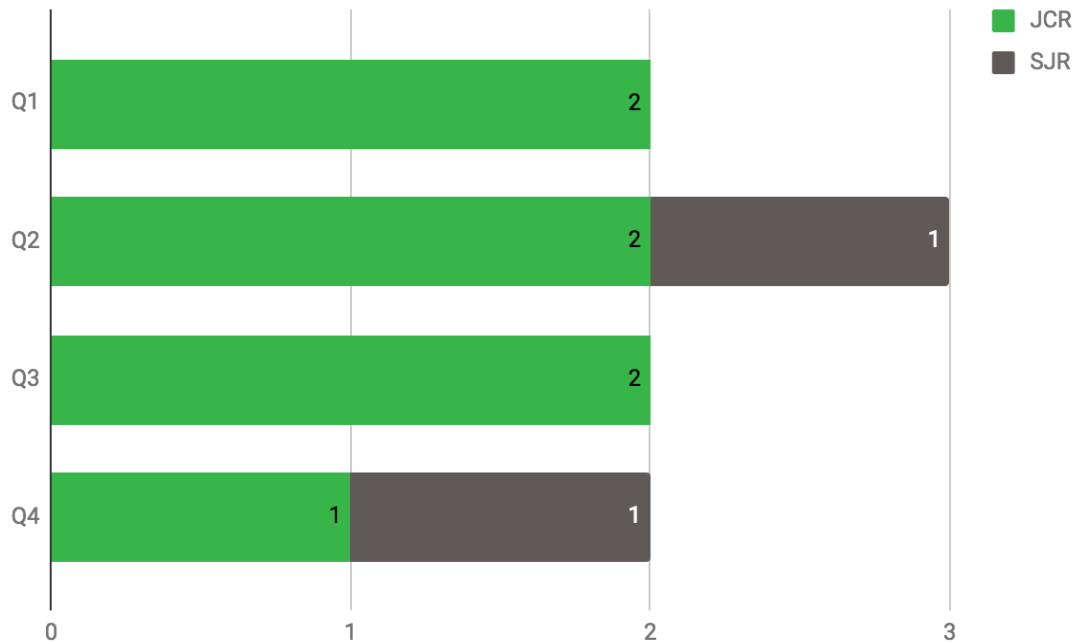


Figura 64. Producción científica asociada a la tesis doctoral organizada por tipo de publicación. Fuente: Elaboración propia

A continuación, se detallan las publicaciones nacionales e internacionales relacionadas con esta tesis doctoral:

- Revistas indexadas en JCR
 1. García-Peñalvo, F. J., Conde-González, M. Á., Zangrando, V., García-Holgado, A., Seoane-Pardo, A. M., Alier, M., Galanis, N., Brouns, F., Vogten, H., Griffiths, D., Mykowska, A., Alves, G. R., & Minović, M. (2013). TRAILER project (Tagging, recognition, acknowledgment of informal learning experiences). A Methodology to make visible learners' informal learning activities to the institutions. *Journal of Universal Computer Science*, 19(11), 1661-1683. doi:10.3217/jucs-019-11-1661. ISSN: 0948-695X (JCR SCI – COMPUTER SCIENCE, SOFTWARE ENGINEERING – Q4 (99 de 105); COMPUTER SCIENCE, THEORY & METHODS – Q4 (89 de 102) – JIF 0.401).
 2. Conde-González, M. Á., García-Peñalvo, F. J., Rodríguez-Conde, M. J., Alier, M., & García-Holgado, A. (2014). Perceived openness of Learning Management Systems by students and teachers in education and technology courses. *Computers in Human Behavior*, 31, 517-526. doi:10.1016/j.chb.2013.05.023. ISSN: 0747-5632 (JCR SSCI –

PSYCHOLOGY, MULTIDISCIPLINARY – Q1 (20 de 129);
PSYCHOLOGY, EXPERIMENTAL – Q2 (24 de 85) – JIF 2.694).

3. Conde-González, M. Á., García-Peñalvo, F. J., Fernández-Llamas, C., & García-Holgado, A. (2015). The Application of Business Process Model Notation to describe a Methodology for the Recognition, Tagging and Acknowledge of Informal Learning Activities. *International Journal of Engineering Education (IJEE)*, 31(3), 884-892. ISSN:0949-149X (JCR SCI – ENGINEERING, MULTIDISCIPLINARY – Q3 (61 de 85); EDUCATION, SCIENTIFIC DISCIPLINES – Q4 (31 de 40) – JIF 0.559).
4. García-Holgado, A., & García-Peñalvo, F. J. (2016). Architectural pattern to improve the definition and implementation of eLearning ecosystems. *Science of Computer Programming*, 129, 20-34. doi:10.1016/j.scico.2016.03.010. ISSN: 0167-6423 (JCR SCI – COMPUTER SCIENCE, SOFTWARE ENGINEERING – Q3 (71 de 106) – JIF 1.064).
5. García-Peñalvo, F. J., Franco Martín, M., García-Holgado, A., Toribio Guzmán, J. M., Largo Antón, J., & Sánchez-Gómez, M. C. (2016). Psychiatric patients tracking through a private social network for relatives: development and pilot study. *Journal of Medical Systems*, 40(7), Paper 172. doi:10.1007/s10916-016-0530-5. ISSN: 1573-689X (JCR SCI – HEALTH CARE SCIENCES & SERVICES – Q2 (28 de 90); MEDICAL INFORMATICS – Q2 (9 de 23) – JIF 2.456).
6. Toribio-Guzmán, J. M., García-Holgado, A., Soto Pérez, F., García-Peñalvo, F. J., & Franco Martín, M. (2017). Usability Evaluation of a Private Social Network on Mental Health for Relatives. *Journal of Medical Systems*, 41(9), 137. doi:10.1007/s10916-017-0780-x. ISSN: 1573-689X (JCR SCI – HEALTH CARE SCIENCES & SERVICES – Q2 (46 de 94); MEDICAL INFORMATICS – Q3 (13 de 25) – JIF 2.098).
7. García-Holgado, A., & García-Peñalvo, F. J. (2018). Validation of the learning ecosystem metamodel using transformation rules. *Future Generation Computer Systems*, *In press*. (JCR SCI – COMPUTER SCIENCE, THEORY & METHODS – Q1 (7 de 103) – JIF 4.639).

- Revistas indexadas en Scopus

1. Viegas, C., Marques, M., Alves, G., Mykowska, A., Galanis, N., Alier, M., Brouns, F., Janssen, J., García-Peñalvo, F. J., García-Holgado, A.,

- Zangrando, V., & Conde-González, M. Á. (2014). TRAILER: A Tool for Managing Informal Learning. *International Journal of Human Capital and Information Technology Professionals (IJHCITP)*, 5(3), 1-17. doi:10.4018/ijhcitp.2014070101. ISSN: 1947-3478 (SJR 0.265 – COMPUTERS SCIENCE (MISCELLANEOUS) – Q2; MANAGEMENT OF TECHNOLOGY AND INNOVATION – Q3).
2. Tena-Espinoza-de-los-Monteros, M. A., García-Holgado, A., Merlo-Vega, J. A., & García-Peñalvo, F. J. (2017). Diseño de un plan de visibilidad científica e identidad digital para los investigadores de la Universidad de Guadalajara (México). *Ibersid: Revista de sistemas de información y documentación*, 11(1), 83-92. ISSN 1888-0967. (SJR 0.116 – COMMUNICATION – Q4; COMPUTER NETWORKS AND COMMUNICATIONS – Q4; INFORMATION SYSTEMS – Q4; LIBRARY AND INFORMATION SCIENCES – Q4).
- Actas de conferencias internacionales
 1. García-Holgado, A., & García-Peñalvo, F. J. (2013). Análisis de integración de soluciones basadas en software como servicio para la implantación de ecosistemas tecnológicos corporativos. En J. Cruz-Benito, A. García-Holgado, S. García-Sánchez, D. Hernández-Alfageme, M. Navarro-Cáceres, & R. Vega-Ruiz (Eds.), *Avances en Informática y Automática. Séptimo Workshop* (pp. 55-72). Salamanca: Departamento de Informática y Automática de la Universidad de Salamanca. ISBN: 846958670X.
 2. García-Peñalvo, F. J., Zangrando, V., García-Holgado, A., Conde-González, M. Á., Seoane-Pardo, A. M., Alier, M., Galanis, N., López, J., Janssen, J., Brouns, F., Finders, A., Berlanga, A., Sloep, P., Griffiths, D., Johnson, M., Waszkiewicz, E., Mykowska, A., Minovic, M., Milovanovic, M., Marques, M. A., Viegas, M. C., & Alves, G. R. (2013). A Tool to Aid Institutions Recognize Their Employees Competences Acquired by Informal Learning. En D. Hernández-Leo, T. Ley, R. Klamka, & A. Harrer (Eds.), *Scaling up Learning for Sustained Impact* (Vol. LNCS 8095, pp. 552-555). Berlin, Heidelberg: Springer. doi:10.1007/978-3-642-40814-4_56. ISBN: 978-3-642-40813-7. (SJR 0.36 – COMPUTER SCIENCES (MISCELLANEOUS) – Q2; THEORICAL COMPUTER SCIENCES – Q3).

3. Conde-González, M. Á., García-Peñalvo, F. J., Zangrando, V., García-Holgado, A., Seoane-Pardo, A. M., Alier, M., Galanis, N., Griffiths, D., Johnson, M., Janssen, J., Brouns, F., Vogten, H., Finders, A., Sloep, P., Marques, M. A., Viegas, M. C., Alves, G. R., Waszkiewicz, E., Mykowska, A., Minovic, M., & Milovanovic, M. (2013). Enhancing informal learning recognition through TRAILER project. En F. J. García-Peñalvo, M. Á. Conde-González, & D. Griffiths (Eds.), *Proceedings of the Workshop on Solutions that Enhance Informal Learning Recognition (WEILER 2013). Co-located with 8th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2013) (Paphos, Cyprus, September 18, 2013)*: CEUR Workshop Proceedings. ISSN: 1613-0073.
4. Viegas, C., Marques, M., Alves, G. R., Galanis, N., Brouns, F., Janssen, J., Waszkiewicz, E., Mykowska, A., Zangrando, A., García-Holgado, A., Conde-González, M. Á., & García-Peñalvo, F. J. (2013). Using the TRAILER tool for managing informal learning in academic and professional contexts: the learner perspective. En F. J. García-Peñalvo (Ed.), *Proceedings of the First International Conference on Technological Ecosystem for Enhancing Multiculturality (TEEM'13) (Salamanca, Spain, November 14-15, 2013)* (pp. 529-534). New York, NY, USA: ACM. doi: 10.1145/2536536.2536617. ISBN: 978-1-4503-2345-1.
5. García-Holgado, A., & García-Peñalvo, F. J. (2013). The evolution of the technological ecosystems: an architectural proposal to enhancing learning processes *Proceedings of the First International Conference on Technological Ecosystem for Enhancing Multiculturality (TEEM'13) (Salamanca, Spain, November 14-15, 2013)* (pp. 565-571). New York: ACM. doi: 10.1145/2536536.2536623. ISBN: 978-1-4503-2345-1.
6. García-Peñalvo, F. J., García-Holgado, A., & Cruz-Benito, J. (2013). Formal and informal learning experiences in multicultural scopes *Proceedings of the First International Conference on Technological Ecosystem for Enhancing Multiculturality (TEEM'13) (Salamanca, Spain, November 14-15, 2013)* (pp. 523-527). New York, NY, USA: ACM. doi: 10.1145/2536536.2536616. ISBN: 978-1-4503-2345-1.
7. García-Holgado, A., & García-Peñalvo, F. J. (2014). Patrón arquitectónico para la definición de ecosistemas de eLearning basados en desarrollos

- open source. En J. L. S. Rodríguez, J. M. D. Beardo, & D. Burgos (Eds.), *Proceedings of 2014 International Symposium on Computers in Education (SIIE) (Logroño, La Rioja, Spain, November 12-14, 2014)* (pp. 137-142). Logroño, La Rioja, España: Universidad Internacional de la Rioja (UNIR). ISBN: 978-84-16125-41-8.
8. García-Holgado, A., & García-Peñalvo, F. J. (2014). Knowledge management ecosystem based on drupal platform for promoting the collaboration between public administrations. En F. J. García-Peñalvo (Ed.), *Proceedings of the Second International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'14) (Salamanca, Spain, October 1-3, 2014)* (pp. 619-624). New York, NY, USA: ACM. doi: 10.1145/2669711.2669964. ISBN: 978-1-4503-2896-8.
 9. García-Holgado, A., & García-Peñalvo, F. J. (2014). Architectural pattern for the definition of eLearning ecosystems based on Open Source developments. En J. L. Sierra-Rodríguez, J. M. Dodero-Beardo, & D. Burgos (Eds.), *Proceedings of 2014 International Symposium on Computers in Education (SIIE) (Logroño, La Rioja, Spain, November 12-14, 2014)* (pp. 93-98): Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE Catalog Number CFP1486T-ART. doi: 10.1109/SIIE.2014.7017711. ISBN: 978-1-4799-4428-6.
 10. García-Holgado, A., García-Peñalvo, F. J., Hernández-García, Á., & Llorens-Largo, F. (2015). Analysis and Improvement of Knowledge Management Processes in Organizations Using the Business Process Model Notation. En D. Palacios-Marqués, D. R. Soriano, & K. H. Huarng (Eds.), *New Information and Communication Technologies for Knowledge Management in Organizations: 5th Global Innovation and Knowledge Academy Conference, GIKA 2015, Valencia, Spain, July 14-16, 2015, Proceedings* (pp. 93-101). Switzerland: Springer International Publishing. ISBN: 9783319222042. (SJR 0.284 – BUSINESS AND INTERNATIONAL MANAGEMENT – Q3; CONTROL AND SYSTEMS ENGINEERING – Q3; INFORMATION SYSTEMS – Q3; INFORMATION SYSTEMS AND MANAGEMENT – Q3; MANAGEMENT INFORMATION SYSTEMS – Q3; MODELING AND SIMULATION – Q4).

11. García-Holgado, A., Cruz-Benito, J., & García-Peñalvo, F. J. (2015). Analysis of Knowledge Management Experiences in Spanish Public Administration *Proceedings of the Third International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'15) (Porto, Portugal, October 7-9, 2015)* (pp. 189-193). New York, NY, USA: ACM. doi: 10.1145/2808580.2808609. ISBN: 978-1-4503-3442-6.
12. García-Holgado, A., Cruz-Benito, J., & García-Peñalvo, F. J. (2015). Análisis comparativo de la gestión del conocimiento en la administración pública española *III Congreso Internacional sobre Aprendizaje, Innovación y Competitividad (CINAIC 2015) (Madrid, Spain, October 14-16, 2015)* (pp. 602-607). ISBN: 978-84-608-2907-2.
13. García-Holgado, A., García-Peñalvo, F. J., & Rodríguez-Conde, M. J. (2015). Definition of a Technological Ecosystem for Scientific Knowledge Management in a PhD Programme *Proceedings of the Third International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'15) (Porto, Portugal, October 7-9, 2015)* (pp. 695-700). New York, NY, USA: ACM. doi: 10.1145/2808580.2808686. ISBN: 978-1-4503-3442-6.
14. Toribio Guzmán, J. M., García-Holgado, A., Soto Pérez, F., García-Peñalvo, F. J., & Franco Martín, M. (2016). Estudio de Usabilidad de la Red Social Privada SocialNet mediante Evaluación Heurística. En L. Moreno López, E. J. Rubia Cuestas, V. M. R. Penichet, & F. J. García-Peñalvo (Eds.), *Actas del XVII Congreso Internacional de Interacción Persona-Ordenador - Interacción 2016. 14-16 de septiembre de 2016, Salamanca, España* (pp. 75-77). Salamanca, España: Ediciones Universidad de Salamanca. ISBN: 978-84-9012-629-5. ISBN: 978-84-9012-629-5.
15. Toribio Guzmán, J. M., García-Holgado, A., Soto Pérez, F., García-Peñalvo, F. J., & Franco Martín, M. (2016). Study of the Usability of the Private Social Network SocialNet using Heuristic Evaluation. En L. Moreno López, E. J. Rubia Cuestas, V. M. R. Penichet, & F. J. García-Peñalvo (Eds.), *Proceedings of the Interacción '16 Proceedings of the XVII International Conference on Human Computer Interaction (Salamanca, Spain — September 13 - 16, 2016)* (pp. Article 22). New York, NY, USA: ACM. doi: 10.1145/2998626.2998674. ISBN: 978-1-4503-4119-6.

16. Toribio-Guzmán, J. M., García-Holgado, A., Soto Pérez, F., García-Peñalvo, F. J., & Franco Martín, M. (2016). Heuristic evaluation of SocialNet, the private social network for psychiatric patients and their relatives. En F. J. García-Peñalvo (Ed.), *Proceedings of the Fourth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'16) (Salamanca, Spain, November 2-4, 2016)* (pp. 525-532). New York, NY, USA: ACM. doi: 10.1145/3012430.3012568. ISBN: 978-1-4503-4747-1.
17. García-Holgado, A., & García-Peñalvo, F. J. (2017). A Metamodel Proposal for Developing Learning Ecosystems. En P. Zaphiris & A. Ioannou (Eds.), *Learning and Collaboration Technologies. Novel Learning Ecosystems. 4th International Conference, LCT 2017. Held as Part of HCI International 2017, Vancouver, BC, Canada, July 9–14, 2017. Proceedings, Part I* (Vol. 10295, pp. 100-109). Switzerland: Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-58509-3_10. ISBN: 978-3-319-58509-3. (SJR 0.295 – COMPUTER SCIENCES (MISCELLANEOUS) – Q2; THEORICAL COMPUTER SCIENCES – Q3).
18. García-Holgado, A., & García-Peñalvo, F. J. (2017). Definición de ecosistemas de aprendizaje independientes de plataforma *IV Congreso Internacional sobre Aprendizaje, Innovación y Competitividad (CINAIC 2017) (Zaragoza, Spain, October 4-6, 2017)* (pp. 668-673). doi: 10.26754/CINAIC.2017.000001_143. ISBN: 978-84-16723-41-6.
19. García-Holgado, A., & García-Peñalvo, F. J. (2017). Preliminary validation of the metamodel for developing learning ecosystems. En J. M. Dodero, M. S. Ibarra Sáiz, & I. Ruiz Rube (Eds.), *Proceedings of the 5th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM 2017) (Cádiz, Spain, October 18-20, 2017)*. New York, NY, USA: ACM. doi: 10.1145/3144826.3145439. ISBN: 978-1-4503-5386-1.
20. García-Holgado, A., & García-Peñalvo, F. J. (2018). Learning Ecosystem Metamodel Quality Assurance. En Á. Rocha, A. Correia, H. Adeli, L. Reis, & S. Costanzo (Eds.), *Trends and Advances in Information Systems and Technologies* (pp. 787-796). Switzerland: Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-77703-0_78. ISBN impreso: 978-3-319-77702-3. ISBN online: 978-3-319-77703-0.

21. García-Holgado, A., & García-Peñalvo, F. J. (2018). Human interaction in learning ecosystems based in Open Source solutions *Learning and Collaboration Technologies. Design, Development and Technological Innovation. 5th International Conference, LCT 2018. Held as Part of HCI International 2018, Las Vegas, NV, USA, July 15–20, 2018* (Vol. 10924). Switzerland: Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-91743-6_17. (SJR 0.295 – COMPUTER SCIENCES (MISCELLANEOUS) – Q2; THEORICAL COMPUTER SCIENCES – Q3).
 22. García-Peñalvo, F. J., García-Holgado, A., Vázquez-Ingelmo, A., & Seoane-Pardo, A. M. (2018). Usability test of WYRED Platform *Learning and Collaboration Technologies. Design, Development and Technological Innovation. 5th International Conference, LCT 2018. Held as Part of HCI International 2018, Las Vegas, NV, USA, July 15–20, 2018*. Switzerland: Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-91743-6_5. (SJR 0.295 – COMPUTER SCIENCES (MISCELLANEOUS) – Q2; THEORICAL COMPUTER SCIENCES – Q3).
- Libros
 1. García-Peñalvo, F. J., & García-Holgado, A. (Eds.). (2017). *Open Source Solutions for Knowledge Management and Technological Ecosystems*. Hershey: IGI Global. (Posición 32 de 65 en SPI Educación – Q2 – ICEE 0.994). ISBN: 9781522509059.
 - Capítulos de libro
 1. García-Holgado, A., García-Peñalvo, F. J. “Gestión del conocimiento abierto mediante ecosistemas tecnológicos basados en soluciones Open Source”. En J. A. Merlo Vega (Ed.), *Ecosistemas del Conocimiento Abierto*. Salamanca, España: Ediciones Universidad de Salamanca. ISBN impreso en POD: 978-84-9012-773-5. ISBN PDF: 978-84-9012-774-2. ISBN ePub: 978-84-9012-775-9. ISBN Mobipocke: 978-84-9012-776-6. 2018.
 - Informes técnicos
 1. García-Holgado, A., & García-Peñalvo, F. J. (2015). *Estudio sobre la evolución de las soluciones tecnológicas para dar soporte a la gestión de la información* (Technical Report GRIAL-TR-2015-001). Recuperado de Salamanca, España: <http://hdl.handle.net/10366/125415>

Cabe destacar la realización de una estancia doctoral de tres meses de duración, desde el 9 de enero de 2016 hasta el 9 de abril de 2016, en la Escuela de Educación, Humanidades y Ciencias Sociales (EEHCS), actual Escuela de Humanidades y Educación, del Tecnológico de Monterrey (México). Durante la estancia se ha definido e implementado el ecosistema tecnológico para la gestión del conocimiento en los programas de doctorado de la EEHCS. Esto ha permitido estudiar la transferencia de los ecosistemas tecnológicos entre diferentes contextos, concretamente entre dos universidades, la Universidad de Salamanca, donde originalmente se implementó el ecosistema, y el Tecnológico de Monterrey, donde el ecosistema se ha transferido con éxito.

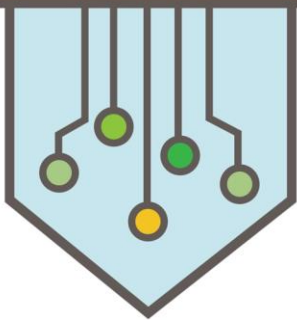
La presente tesis doctoral ha contado con la financiación del Ayudas para la Formación del Profesorado Universitario del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte del Gobierno de España (FPU014/04783). Así mismo, también ha contado con el apoyo de los siguientes proyectos de investigación:

- *Tagging, Recognition and Acknowledgment of Informal Learning Experiences* (TRAILER) (ref. 519141-LLP-1-2011-1-ES-KA3-KA3MP). Financiado por la Unión Europea a través del subprograma *ICT KA 3 Multilateral projects* dentro del *Lifelong Learning Programme*. Coordinador: GRIAL – Universidad de Salamanca. Duración desde el 1-1-2012 al 31-12-2013. Cuantía: 544.349€
- *Virtual Alliances for Learning Society* (VALS) (ref. 540054-LLP-1-2013-1-ES-ERASMUS-EKA). Financiado por la Unión Europea a través del *Lifelong Learning Programme* y el subprograma *Erasmus Knowledge Alliances*. Coordinador: GRIAL – Universidad de Salamanca. Duración: desde el 1-10-2013 al 9-02-2016. Cuantía: 533.337€
- *Ecosistema tecnológico para el Observatorio de Empleabilidad y Empleo Universitarios (OEEU) de la Cátedra UNESCO de Gestión y Política Universitaria de la Universidad Politécnica de Madrid*. Colaboración con la Cátedra UNESCO de Gestión y Política Universitaria de la Universidad Politécnica de Madrid. Duración desde 2014 hasta la actualidad.
- *WYRED: netWorked Youth Research for Empowerment in the Digital society* (ref. 727066). Financiado por la Unión Europea dentro del programa *Horizon 2020, Europe in a changing world – inclusive, innovative and reflective Societies*.

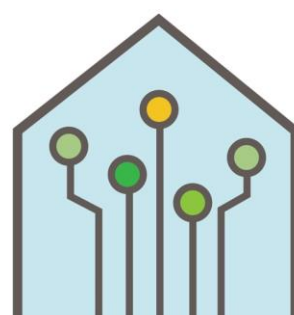
Coordinador: GRIAL – Universidad de Salamanca. Duración desde el 1-11-2016 hasta el 31-10-2019. Cuantía: 993.662,50€

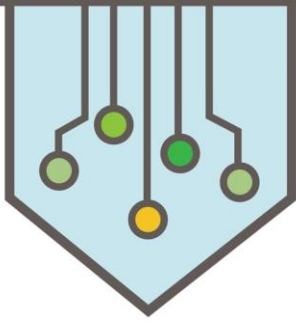
- TE-CUIDA, propuesta de un Ecosistema TEcnológico para apoyo a CUIDAdores asistenciales (ref. SA061P17). Financiado por la Consejería de Educación de la Junta de Castilla y León en el programa de apoyo a proyectos de investigación cofinanciadas por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional. Investigador principal: Francisco J. García-Peñalvo. Duración desde el 26-7-2017 al 31-12-2019. Cuantía: 117.000€
- *A Digital Ecosystem Framework for an Interoperable NEtwork-based Society* (DEFINES) (ref. TIN2016-80172-R) Financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad en la convocatoria 2016 de proyectos I+D+i del Programa Estatal de Investigación, Desarrollo e Innovación Orientada a los Retos de la Sociedad. Investigador principal: Francisco J. García-Peñalvo. Duración desde el 1-1-2017 al 31-12-2020. Cuantía: 82.900€

Por último, se ha publicado en GitHub parte de los resultados de la presente investigación bajo licencia GPLv3 <https://github.com/aliciagh/ecometamodel>, y los resultados de la revisión sistemática y mapeo de la literatura <https://github.com/aliciagh/slr-architecturesMDE-SECO>.



APÉNDICES





APÉNDICE A

Revisión sistemática de SLR relacionados con ecosistemas tecnológicos

En la fase de planificación de la revisión sistemática de la literatura descrita en el Capítulo 3 se debe determinar si es realmente necesario llevar a cabo la revisión sistemática, es decir, si no existe ya en la literatura una revisión sistemática que permita sentar las bases teóricas de la investigación.

A continuación, se describe el protocolo de revisión definido para encontrar revisiones sistemáticas de la literatura relacionadas con los ecosistemas tecnológicos.

A.1 Preguntas de investigación

IQA1. ¿Existen SLR o mapeos que respondan parcial o completamente al objetivo de investigación definido?

A.2 Criterios de inclusión y exclusión

Se han definido un conjunto de criterios de inclusión y exclusión para seleccionar aquellos trabajos que son relevantes para dar respuesta a la pregunta de investigación definida. Concretamente se han definido cinco criterios de inclusión (IC) y los correspondientes cinco criterios de exclusión (EC):

- IC1: La publicación presenta una revisión o mapeo de la literatura centrado en los ecosistemas tecnológicos AND
- IC2: La revisión o mapeo de la literatura sigue un proceso sistemático AND

- IC3: La publicación está en inglés AND
- IC4: La publicación está publicada en revistas, libros, conferencias o *workshops* con revisión por pares AND
- IC5: La versión completa de la publicación está disponible a través de la suscripción de la institución en la que se desarrolla la revisión o por parte de las asociaciones de las que los autores son miembros.

Criterios de exclusión:

- EC1: La publicación no presenta una revisión o mapeo de la literatura centrado en los ecosistemas tecnológicos OR
- EC2: La revisión o mapeo de la literatura no sigue un proceso sistemático OR
- EC3: La publicación no está en inglés OR
- EC4: La publicación no está publicada en revistas, libros, conferencias o *workshops* con revisión por pares OR
- EC5: La versión completa de la publicación no está disponible a través de la suscripción de la institución en la que se desarrolla la revisión o por parte de las asociaciones de las que los autores son miembros.

A.3 Estrategia de búsqueda

El objetivo de los términos de búsqueda es encontrar cualquier revisión sistemática de la literatura relacionada con los ecosistemas tecnológicos. Para definir el conjunto de términos se han buscado las palabras utilizadas en la literatura para hablar sobre revisiones sistemáticas y ecosistemas tecnológicos. Los términos se han indicado únicamente en inglés siguiendo el criterio IC3.

Los términos de búsqueda seleccionados son: SLR, *Systematic Literature Review*, *systematic mapping*, *literature review*, *technological ecosystem*, *software ecosystem*, *SECO*, *information ecosystem*, *ERP ecosystem*, *open ecosystem*, *learning ecosystem*.

La búsqueda se ha realizado en las bases de datos Scopus, Web of Science (WoS), IEEE Xplorer y ACM Digital Library. Los criterios que se han seguido para seleccionar las fuentes son los siguientes:

- Se trata de una base de datos de referencia en el ámbito de la investigación.
- Se trata de una base de datos relevante en el área de investigación en la que se enmarca la revisión sistemática.

- Permite utilizar una cadena de búsqueda igual o similar al resto de bases de datos seleccionadas.
- Se trata de una base de datos accesible a través de la institución en la que se desarrolla la revisión o a través de las asociaciones de las que los autores son miembros.

A.4 Cadenas de búsqueda

Las cadenas de búsqueda para cada una de las fuentes seleccionadas se han elaborado a partir de los términos de búsqueda combinados con operadores booleanos AND y OR. Además, en las bases de datos Scopus y WoS se ha utilizado el comodín (*) para buscar el plural de los términos de búsqueda en vez de escribir el singular y el plural de cada término.

No se ha aplicado ninguna restricción de tiempo a las búsquedas, es decir, no se han limitado los resultados por el año de publicación de los trabajos. En relación a las áreas temáticas o categorías, se han aplicado restricciones en WoS y Scopus para evitar publicaciones relacionadas con ecosistemas biológicos. En particular, se han excluido las categorías “VETERINARY SCIENCES” y “AGRICULTURE DAIRY ANIMAL SCIENCE” en WoS y las áreas temáticas “Agricultural and Biological Sciences” y “Social Sciences” en Scopus. En cuanto al tipo de documentos, se han incluido únicamente publicaciones en conferencias, artículos en revistas, capítulos de libro y revisiones.

Los términos seleccionados se han buscado en el título, las palabras clave y el resumen. La consulta base ha sido la siguiente:

(“technological ecosystem” OR “software ecosystem*” OR SECO OR “information ecosystem*” OR “ERP ecosystem*” OR “open ecosystem*” or “learning ecosystem”*) AND (SLR OR “Systematic Literature Review” OR “systematic mapping” OR “literature review”)*

Las cadenas de búsqueda concreta para cada una de las bases de datos se describen a continuación:

- WoS:

TS=((“technological ecosystem” OR “software ecosystem*” OR SECO OR “information ecosystem*” OR “ERP ecosystem*” OR “open ecosystem*” or “learning*

*ecosystem**”) AND (SLR OR “Systematic Literature Review” OR “systematic mapping” OR “literature review”))*

- Scopus:

*TITLE-ABS-KEY (“technological ecosystem**” OR “software ecosystem**” OR seco OR “information ecosystem**” OR “ERP ecosystem**” OR “open ecosystem**” OR “learning ecosystem**”) AND TITLE-ABS-KEY (slr OR “Systematic Literature Review” OR “systematic mapping” OR “literature review”) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , “cp”) OR LIMIT-TO (DOCTYPE , “ar”) OR LIMIT-TO (DOCTYPE , “ch”) OR LIMIT-TO (DOCTYPE , “re”)) AND (EXCLUDE (SUBJAREA , “AGRI”) OR EXCLUDE (SUBJAREA , “MEDI”) OR EXCLUDE (SUBJAREA , “SOCI”)) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , “English”))*

- IEEE Xplorer:

(“technological ecosystem” OR “software ecosystem” OR SECO OR “information ecosystem” OR “ERP ecosystem” OR “open ecosystem” or “learning ecosystem”) AND (SLR OR “Systematic Literature Review” OR “systematic mapping” OR “literature review”)

- ACM Digital Library:

((acmdlTitle: (“technological ecosystem” OR “software ecosystem” OR SECO OR “information ecosystem” OR “ERP ecosystem” OR “open ecosystem” OR “learning ecosystem”) OR recordAbstract: (“technological ecosystem” OR “software ecosystem” OR SECO OR “information ecosystem” OR “ERP ecosystem” OR “open ecosystem” OR “learning ecosystem”)) AND (acmdlTitle: (SLR OR “Systematic Literature Review” OR “systematic mapping” OR “literature review”) OR recordAbstract: (SLR OR “Systematic Literature Review” OR “systematic mapping” OR “literature review”)))

A.5 Proceso de revisión

En primer lugar, se han identificado los resultados obtenidos tras aplicar las cadenas de búsqueda. Para ello se han descargado los resultados en formato CSV, se han almacenado en un repositorio en GitHub [253] y se han organizado en una hoja de cálculo en Google Sheets (<http://bit.ly/2yz5n3Y>). La hoja de cálculo está configurada

para detectar automáticamente títulos duplicados con objeto de facilitar su búsqueda y eliminación. Además, para cada publicación se ha marcado en qué bases de datos está presente.

En segundo lugar, se han analizado el título, el resumen y las palabras clave de cada una de las publicaciones, y se han aplicado los criterios de inclusión y exclusión. Las publicaciones se han organizado en otra hoja y se ha indicado para cada publicación si cumple los criterios de inclusión o si, por el contrario, cumple algún criterio de exclusión (<http://bit.ly/2MJRvqu>).

Por último, cada una de las publicaciones que cumplen los criterios se ha leído en profundidad para determinar una serie de características o criterios de calidad. En este análisis se ha respondido a las siguientes cuestiones:

- ¿Realiza un mapeo de la literatura?
- ¿Realiza una revisión de la literatura?
- ¿Cuál es el dominio?
- ¿Qué aspectos de los ecosistemas tecnológicos analiza?
- ¿Cuáles son las preguntas de investigación?
- ¿Qué fechas abarca?
- ¿Qué bases de datos utiliza?
- ¿Cuáles son los términos de búsqueda utilizados?

Además, para cada una de las preguntas de investigación y de mapeo planteadas en el SLR principal (Capítulo 3), se ha realizado una pregunta para determinar si la publicación analizada responde a la misma. En total se han realizado 12 preguntas, cada una de las cuales se ha respondido con una de las siguientes opciones: sí (1), no (0), parcial (0,5). Cada respuesta se corresponde con una puntuación, de tal forma que la suma de las respuestas permite obtener el porcentaje de similitud entre la revisión o mapeo sistemático analizado y la SLR que se pretende llevar a cabo. Se ha utilizado el porcentaje de similitud para responder a la pregunta de investigación formulada, ¿Existen SLR o mapeos que respondan parcial o completamente al objetivo de investigación definido?

Tras la lectura completa de los trabajos se han identificado otras publicaciones relevantes para la SLR. Concretamente una publicación, que también se ha leído en

profundidad para responder a las preguntas formuladas anteriormente. Toda la información se ha organizado en una tercera hoja de cálculo (<http://bit.ly/2K3D0vP>).

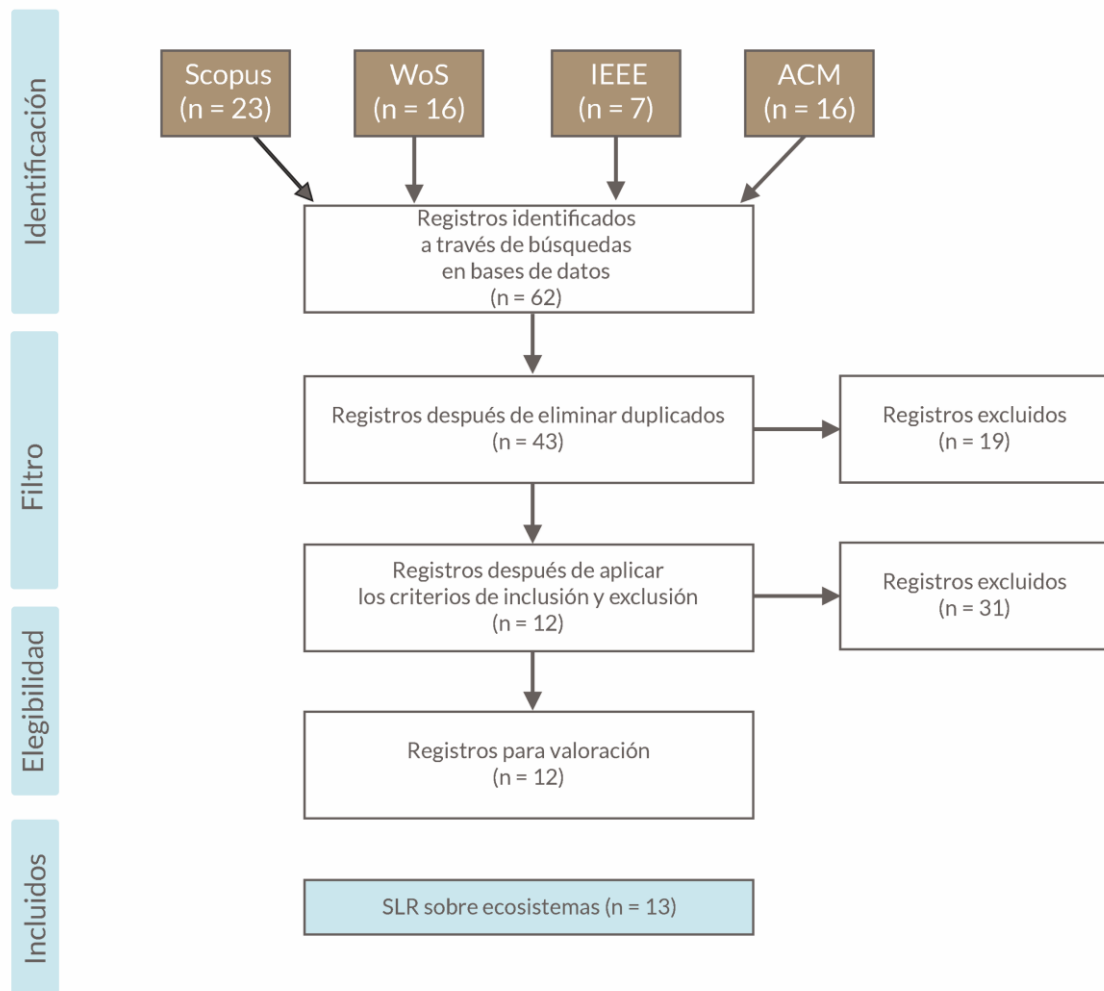
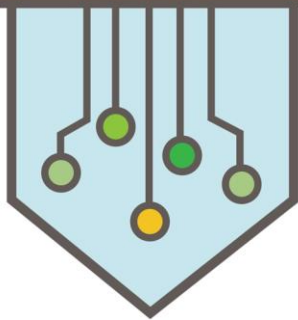


Figura 65. Flujo PRISMA de la revisión sistemática de SLR sobre ecosistemas tecnológicos. Fuente: Adaptado de [252]

Los resultados obtenidos tras llevar a cabo este proceso se han descrito mediante un flujo PRISMA [252] (Figura 65):

7. Tras aplicar las cadenas de búsqueda en cada una de las bases de datos se han obtenido 62 publicaciones, de las cuales 23 proceden de Scopus, 16 de WoS, 7 de IEEE y 16 de ACM.
8. Después de eliminar los duplicados se tienen 43 publicaciones.
9. Una vez aplicados los criterios al título, resumen y palabras clave se tienen 12 publicaciones (27,9% de todas las publicaciones obtenidas en la búsqueda).
10. Se ha añadido una publicación más a partir de la lectura de los seleccionados.

11. En total se han analizado 13 publicaciones para determinar si responden a las preguntas de investigación.



APÉNDICE B

Análisis comparativo de los ecosistemas tecnológicos

Este apéndice sirve de soporte al análisis comparativo de cada uno de los análisis DAFO realizados en el Capítulo 4. Cada columna de la tabla representa uno de los casos de estudio y las filas una serie de características básicas. Para distinguir las debilidades de las fortalezas se ha utilizado texto en **negrita** para las debilidades.

Tabla 23. Comparativa de los análisis DAFO de cada uno de los ecosistemas tecnológicos estudiados

	Universidad Virtual	GRIAL	TRAILER
Metodología	El ecosistema tecnológico se sustenta sobre una sólida gestión técnica y metodológica involucrando a diferentes servicios de la Universidad coordinados desde el Vicerrectorado de Innovación Tecnológica, pero con poder para la toma de decisiones acerca del componente del ecosistema en cuya definición, implantación y gestión están implicados.	El ecosistema tecnológico se sustenta sobre una sólida gestión técnica y metodológica proporcionada por los miembros del grupo de investigación.	El ecosistema tecnológico se sustenta sobre una sólida gestión técnica y metodológica que involucra a diferentes universidades europeas coordinadas por el grupo de investigación GRIAL de la Universidad de Salamanca.

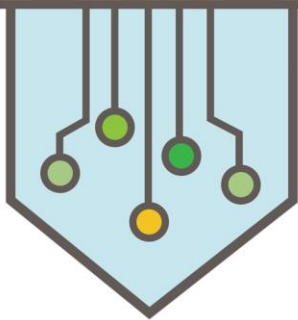
	Universidad Virtual	GRIAL	TRAILER
Novedad	Aunque hay en el mercado soluciones <i>software</i> que cubren diferentes aspectos del ecosistema, las peculiaridades que tiene una universidad no están cubiertas por dicho <i>software</i> . El ecosistema tecnológico planteado permite establecer una conexión entre los diferentes componentes, lo que permite llegar a una integración en el nivel de gestión de los datos y adaptarse a las necesidades de la institución.	Aunque hay en el mercado soluciones <i>software</i> que cubren diferentes aspectos del ecosistema, las peculiaridades que tiene un grupo de investigación no están cubiertas por dicho <i>software</i> . El ecosistema tecnológico planteado permite establecer una conexión entre los diferentes componentes para proporcionar una funcionalidad adicional que no existe si se toman estos por separado.	No existe en el mercado ninguna solución <i>software</i> que permita la gestión integral de competencias, tanto adquiridas de manera formal como informal, dentro de una institución o empresa.
Usuarios	El sistema es dependiente de la gestión de usuarios existente.	A pesar de que la autenticación de usuarios sea centralizada, no existe una gestión centralizada integral de usuarios, lo que impide un control global de los mismos. El uso de un servidor único de autenticación de usuarios introduce una capa de seguridad adicional.	La gestión de usuarios centralizada abarca únicamente dos componentes del ecosistema y solo a nivel de autenticación ya que los datos de usuario se derivan a cada uno de los componentes, lo que supone un paso atrás en la usabilidad del ecosistema.
Información	El repositorio permite un primer nivel de centralización de datos de diversa procedencia institucional (investigación, docencia, archivo institucional y acervo histórico), además de una clasificación y etiquetado semántico. Amplia difusión de los contenidos al integrar el repositorio con los principales recolectores.	Los datos del repositorio documental no son accesibles de manera transparente desde cualquier punto del ecosistema, sino que su utilización fuera del repositorio debe hacerse de forma manual. Existe un primer nivel de centralización de los datos gracias al repositorio documental.	Existe una gestión centralizada de las competencias gestionadas dentro del ecosistema.

	Universidad Virtual	GRIAL	TRAILER
Integración	La integración entre los componentes no se ha realizado únicamente a nivel de lógica de negocio y de presentación, sino que ciertos flujos de información conllevan la integración a nivel de datos, lo que genera dependencias entre las aplicaciones. La integración a nivel de presentación no sigue una única identidad corporativa de tal forma que cada elemento, aunque se mantienen diseños similares y se sigue un diseño institucional, no proporcionaba unicidad. Interoperabilidad limitada a ciertas conexiones <i>ad-hoc</i>.	La integración a nivel de presentación mantiene la identidad corporativa, pero sigue existiendo una falta de unicidad que muestre el ecosistema como un todo. La integración se ha llevado a cabo mediante el uso de servicios web, con lo que se mantiene la independencia entre los componentes y se proporciona una funcionalidad adicional al establecer ciertos flujos de trabajo.	La integración a nivel de presentación mantiene la identidad corporativa, pero sigue existiendo una falta de unicidad que muestre el ecosistema como un todo. El entorno institucional <i>ad-hoc</i> es totalmente dependiente del resto de componentes, a pesar de que la integración se ha realizado mediante servicios web, existen fuertes dependencias a nivel de lógica de negocio. La integración se ha llevado a cabo mediante el uso de servicios web, gracias a lo que se consigue una independencia entre los componentes y se proporciona una funcionalidad adicional al establecer ciertos flujos de trabajo.
Movilidad	No existe soporte para dispositivos móviles.	No existe soporte para dispositivos móviles.	El <i>portfolio</i> posee soporte para dispositivos móviles mediante una aplicación desarrollada <i>ad-hoc</i> .
Social	No existe integración con redes sociales, de tal forma que la capa social se limita a los blogs.	Integración de diferentes herramientas sociales como componentes satélites del ecosistema.	No existe una explotación del carácter social en la gestión de las competencias, lo cual es una de sus mayores oportunidades.

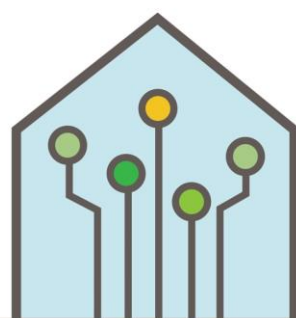
	Universidad Virtual	GRIAL	TRAILER
Evolución	La solución planteada a la hora de satisfacer los requisitos de información en el portal institucional introduce una fuerte resistencia al cambio. A pesar de realizar un desarrollo por módulos sustentado en un CMS muy flexible, la gran cantidad de funcionalidad que se ha implementado no tiene en cuenta permitir la evolución del ecosistema. La actualización del portal a una versión de Drupal superior requiere un desarrollo desde cero. La gran envergadura del ecosistema requiere de un gran trabajo de mantenimiento y de un constante seguimiento para asegurar el correcto funcionamiento tanto desde el punto de vista metodológico como técnico. La gestión de usuarios soportada por un sistema independiente a cada uno de los componentes que forman el ecosistema de aprendizaje permite asegurar que el sistema crezca y evolucione, permite añadir nuevos componentes o cambiar los existentes con el fin de ajustarse a las necesidades cambiantes que surjan a lo largo de los años. La escalabilidad, robustez, usabilidad, consistencia del sistema ha quedado patente al ponerse a disposición de toda la comunidad universitaria.	Las soluciones <i>software</i> desarrolladas para satisfacer los requisitos de los diferentes componentes del sistema permiten la evolución del mismo, de tal forma que la actualización de alguno de los elementos <i>software</i> utilizados conlleva un esfuerzo mínimo de desarrollo.	La arquitectura planteada permite la evolución de cada uno de los componentes del ecosistema de manera independiente, así como introducir nuevos componentes propios de la institución o empresa que despliegue el ecosistema TRAILER.

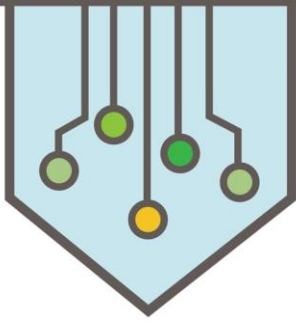
	Universidad Virtual	GRIAL	TRAILER
Toma de decisiones	La toma de decisiones se basa en informes <i>ad-hoc</i> no automatizados.	Los flujos de diseminación permiten un mayor impacto de la información generada en el ecosistema, pero no existe una visión global del impacto conseguido mediante dichos flujos. No existe ningún tipo de monitorización sobre el funcionamiento del ecosistema, no disponiendo de la información necesaria para tomar decisiones relativas a la evolución del mismo. No proporciona las herramientas necesarias para establecer flujos de trabajo relacionados con la toma de decisiones.	Existe una visión global de los flujos de información gracias a las herramientas de toma de decisiones incorporadas en el entorno institucional.
Reutilización	Algunos de los desarrollos <i>ad-hoc</i> llevados a cabo no permite ningún tipo de reutilización.	Los desarrollos <i>ad-hoc</i> , a pesar de cubrir necesidades particulares del ecosistema GRIAL, pueden ser reutilizados en otros entornos.	El catálogo de competencias desarrollado <i>ad-hoc</i> puede ser reutilizado en otros entornos.
<i>open source</i>	El uso de <i>software open source</i> permite realizar el desarrollo dentro de la propia Universidad con todas las ventajas que implica, tanto económicas como estratégicas.	El uso de <i>software open source</i> permite realizar el desarrollo dentro del propio grupo de investigación con todas las ventajas que implica, tanto económicas como estratégicas y de adquisición de conocimientos.	El uso de <i>software open source</i> permite desarrollar el ecosistema manteniendo unos costes mínimos y siguiendo la política de uso de <i>software</i> libre promovida dentro de la Unión Europea.
Desarrollo	El desarrollo incremental del ecosistema permite poner en explotación los diferentes componentes a medida que se realizaba su despliegue e integración.	El desarrollo incremental del ecosistema permite poner en explotación los diferentes componentes a medida que se realizaba su despliegue e integración.	El desarrollo por componentes permite reducir los tiempos de desarrollo y de mantenimiento del ecosistema global.

	Universidad Virtual	GRIAL	TRAILER
Despliegue	La resistencia al cambio propia de cualquier despliegue de nuevas tecnologías se ha tenido en cuenta y se ha cubierto mediante una serie de planes estratégicos de formación, asesoramiento y evaluación y gestión de la calidad.	La resistencia al cambio propia de cualquier despliegue de nuevas tecnologías se ha cubierto mediante una serie de manuales, así como un soporte técnico continuo a través de correo electrónico.	La resistencia al cambio propia de cualquier despliegue de nuevas tecnologías se ha tenido en cuenta y se ha cubierto mediante una serie de talleres y experiencias piloto que han permitido definir los planes de explotación y puesta en marcha del ecosistema en aquellas instituciones y empresas interesadas en darle valor a las competencias adquiridas de manera informal por sus estudiantes o empleados.



REFERENCIAS





Referencias

- [1] F. Machlup, *The production and distribution of knowledge in the United States*. Princeton, N.J., USA: Princeton University Press, 1962.
- [2] P. F. Drucker, *The age of discontinuity. Guidelines to our changing society*. New York, USA: Harper & Row, 1969.
- [3] UNESCO, *UNESCO World Report: Towards Knowledge Societies*. Paris: UNESCO Publishing, 2005.
- [4] Á. Fidalgo-Blanco, M. L. Sein-Echaluce y F. J. García-Peñalvo, "Knowledge Spirals in Higher Education Teaching Innovation," *International Journal of Knowledge Management*, vol. 10, no. 4, pp. 16-37, 2014. doi: 10.4018/ijkm.2014100102.
- [5] Á. Fidalgo-Blanco, M. L. Sein-Echaluce y F. J. García-Peñalvo, "Epistemological and ontological spirals: From individual experience in educational innovation to the organisational knowledge in the university sector," *Program: Electronic library and information systems*, vol. 49, no. 3, pp. 266-288, 2015. doi: 10.1108/PROG-06-2014-0033.
- [6] F. J. García-Peñalvo, *Proyecto Docente e Investigador. Catedrático de Universidad. Perfil Docente: Ingeniería del Software y Gobierno de Tecnologías de la Información. Perfil Investigador: Tecnologías del Aprendizaje. Área de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial*. Salamanca, España: Departamento de Informática y Automática. Universidad de Salamanca, 2018. Disponible en: <https://goo.gl/VWW3wQ>. doi: 10.5281/zenodo.1237989.
- [7] B. A. Adkins, M. Foth, J. A. Summerville y P. L. Higgs, "Ecologies of Innovation: Symbolic Aspects of Cross-Organizational Linkages in the Design Sector in an Australian Inner-City Area," *American Behavioral Scientist*, vol. 50, no. 7, pp. 922-934, 2007. doi: 10.1177/0002764206298317.
- [8] G. Adomavicius, J. Bockstedt, A. Gupta y R. J. Kauffman, "Understanding Patterns of Technology Evolution: An Ecosystem Perspective," en *Proceedings of the 39th Annual Hawaii International Conference System Sciences, 2006. HICSS*

- '06. *Hawaii*, 04-07 Jan. 2006, vol. 8 p. 189a, USA: IEEE, 2006. doi: 10.1109/HICSS.2006.515.
- [9] P. Aubusson, "An ecology of science education," *International Journal of Science Education*, vol. 24, no. 1, pp. 27-46, 2002. doi: 10.1080/09500690110066511.
- [10] T. Crouzier, *Science Ecosystem 2.0: how will change occur?* Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2015. doi: 10.2777/67279.
- [11] A. J. F. Birrer, "Science-trained professionals for the innovation ecosystem: Looking back and looking ahead," *Industry and Higher Education*, vol. 20, no. 4, pp. 273-277, 2006. doi: 10.5367/000000006778175865.
- [12] D. Bollier, *Ecologies of Innovation: The Role of Information and Communication Technologies*. Washington, DC: The Aspen Institute, 2000.
- [13] K. R. Smith, "Building an innovation ecosystem: Process, culture and competencies," *Industry and Higher Education*, vol. 20, no. 4, pp. 219-224, 2006. doi: 10.5367/000000006778175801.
- [14] A. Tatnall y B. Davey, "Improving the Chances of Getting your IT Curriculum Innovation Successfully Adopted by the Application of an Ecological Approach to Innovation," *Informing Science: International Journal of an Emerging Transdiscipline*, vol. 7, pp. 87-103, 2004.
- [15] C. Watanabe y K. Fukuda, "National innovation ecosystems: The similarity and disparity of Japan-US technology policy systems toward a service oriented economy," *Journal of Services Research*, vol. 6, no. 1, pp. 159-186, 2006.
- [16] A. L. Zacharakis, D. A. Shepherd y J. E. Coombs, "The development of venture-capital-backed Internet companies. An ecosystem perspective," *Journal of Business Venturing*, vol. 18, no. 2, pp. 217-231, 2003. doi: 10.1016/S0883-9026(02)00084-8.
- [17] P. Dini *et al.*, "The digital ecosystems research vision: 2010 and beyond," European Commission 2005. Disponible en: <http://bit.ly/2IH6xdg>.
- [18] F. Nachira, "Towards a network of digital business ecosystems fostering the local development," European Commission 2002. Disponible en: <http://bit.ly/2INloZG>.
- [19] F. Nachira, A. Nicolai, P. Dini, M. Le Louarn y L. R. Leon Eds., "Digital business ecosystems." Luxembourg: European Commission, 2007. Disponible en: <http://bit.ly/2IE5mvf>.
- [20] European Commission, "Digital Ecosystems: The New Global Commons for SMEs and local growth," 2006.
- [21] T. Papaioannou, D. Wield y J. Chataway, "Knowledge ecologies and ecosystems? An empirically grounded reflection on recent developments in innovation systems theory," *Environment and Planning C: Government and Policy*, vol. 27, no. 2, pp. 319-339, 2009. doi: 10.1068/c0832.
- [22] S. L. Vargo y R. F. Lusch, "It's all B2B...and beyond: Toward a systems perspective of the market," *Industrial Marketing Management*, vol. 40, no. 2, pp. 181-187, 2011. doi: 10.1016/j.indmarman.2010.06.026.
- [23] P. Frow, J. R. McColl-Kennedy, T. Hilton, A. Davidson, A. Payne y D. Brozovic, "Value propositions: A service ecosystems perspective," *Marketing Theory*, vol. 14, no. 3, pp. 327-351, 2014. doi: 10.1177/1470593114534346.
- [24] J. F. Moore, "Predators and prey: a new ecology of competition," *Harvard Business Review*, vol. 71, no. 3, pp. 75-86, 1993.
- [25] M. Iansiti y R. Levien, "Strategy as ecology," *Harvard Business Review*, vol. 82, no. 3, pp. 68-78, 2004.
- [26] E. Yu y S. Deng, "Understanding Software Ecosystems: A Strategic Modeling Approach," en *IWSECO-2011 Software Ecosystems 2011. Proceedings of the Third*

- International Workshop on Software Ecosystems. Brussels, Belgium, June 7th, 2011.*, S. Jansen, J. Bosch, P. Campbell y F. Ahmed, Eds. pp. 65-76, Aachen, Germany: CEUR Workshop Proceedings, 2011.
- [27] S. Jansen, A. Finkelstein y S. Brinkkemper, "A Sense of Community: A Research Agenda for Software Ecosystems," en *31st International Conference on Software Engineering - Companion Volume, 2009. ICSE-Companion 2009. Vancouver, BC, 16-24 May 2009* pp. 187-190, USA: IEEE, 2009. doi: 10.1109/ICSE-COMPANION.2009.5070978.
 - [28] K. Manikas y K. M. Hansen, "Software ecosystems – A systematic literature review," *Journal of Systems and Software*, vol. 86, no. 5, pp. 1294-1306, 05/05/2013 2013. doi: 10.1016/j.jss.2012.12.026.
 - [29] D. G. Messerschmitt y C. Szyperski, "Software ecosystem: understanding an indispensable technology and industry," *MIT Press Books*, vol. 1, 2005.
 - [30] D. Dhungana, I. Groher, E. Schludermann y S. Biffl, "Software ecosystems vs. natural ecosystems: learning from the ingenious mind of nature," en *Proceedings of the Fourth European Conference on Software Architecture: Companion Volume* pp. 96-102, New York, NY, USA: ACM, 2010.
 - [31] E. Chang y M. West, "Digital Ecosystems A Next Generation of the Collaborative Environment," en *Eight International Conference on Information Integration and Web-based Application & Services*, Yogyakarta Indonesia, 2006, vol. vol. 214, pp. 3-23
 - [32] W. Chen y E. Chang, "Exploring a Digital Ecosystem Conceptual Model and Its Simulation Prototype," en *Industrial Electronics, 2007. ISIE 2007. IEEE International Symposium on*, 2007, pp. 2933-2938 doi: 10.1109/ISIE.2007.4375080.
 - [33] M. Laanpere, "Digital Learning ecosystems: rethinking virtual learning environments in the age of social media," presentado en IFIP-OST'12: Open and Social Technologies for Networked Learning, Taillin, 2012.
 - [34] K. Pata, "Meta-design framework for open learning ecosystems," presentado en Mash-UP Personal Learning Environments (MUP/PLE 2011), Open University of London, 09/06/2011, 2011.
 - [35] T. Mens, M. Claes, P. Grosjean y A. Serebrenik, "Studying evolving software ecosystems based on ecological models," en *Evolving Software Systems*, T. Mens, A. Serebrenik y A. Cleve, Eds. pp. 297-326, Berlin, Heidelberg: Springer, 2014. doi: 10.1007/978-3-642-45398-4_10.
 - [36] M. Lungu, "Towards reverse engineering software ecosystems," en *Software Maintenance, 2008. ICSM 2008. IEEE International Conference on*, 2008, pp. 428-431: IEEE
 - [37] M. F. Lungu, "Reverse Engineering Software Ecosystems," PhD, Faculty of Informatics, University of Lugano, Lugano, Italy, 2009. Disponible en: <https://goo.gl/pSbNZs>.
 - [38] F. J. García-Peñalvo, "Technological Ecosystems," *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje (IEEE RITA)*, vol. 11, no. 1, pp. 31-32, 2016. doi: 10.1109/RITA.2016.2518458.
 - [39] A. García-Holgado y F. J. García-Peñalvo, "The evolution of the technological ecosystems: an architectural proposal to enhancing learning processes," en *Proceedings of the First International Conference on Technological Ecosystem for Enhancing Multiculturality (TEEM'13) (Salamanca, Spain, November 14-15, 2013)* pp. 565-571, New York: ACM, 2013. doi: 10.1145/2536536.2536623.
 - [40] F. J. García-Peñalvo, "Ecosistemas tecnológicos universitarios," en *UNIVERSITIC 2017. Análisis de las TIC en las Universidades Españolas*, J. Gómez, Ed. pp. 164-170, Madrid, España: Crue Universidades Españolas, 2018.

- [41] F. J. García-Peñalvo *et al.*, "Learning services-based technological ecosystems," en *Proceedings of the 3rd International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality*, 2015, pp. 467-472: ACM
- [42] F. J. García-Peñalvo *et al.*, "Mirando hacia el futuro: Ecosistemas tecnológicos de aprendizaje basados en servicios," en *La Sociedad del Aprendizaje. Actas del III Congreso Internacional sobre Aprendizaje, Innovación y Competitividad. CINAIC 2015 (14-16 de Octubre de 2015, Madrid, España)*, Á. Fidalgo-Blanco, M. L. Sein-Echaluce Lacleta y F. J. García-Peñalvo, Eds. pp. 553-558, Madrid, Spain: Fundación General de la Universidad Politécnica de Madrid, 2015.
- [43] F. Llorens-Largo, "La tecnología como motor de la innovación educativa. Estrategia y política institucional de la Universidad de Alicante," *Arbor*, vol. 185, no. Extra, pp. 21-32, 2009.
- [44] F. Llorens-Largo, "La biblioteca universitaria como difusor de la innovación educativa. Estrategia y política institucional de la Universidad de Alicante," *Arbor*, vol. 187, no. Extra 3, pp. 89-100, 2011.
- [45] R. M. Stallman y GNU Emacs Manual, "Free Software Foundation," *El proyecto GNU-Fundación para el software libre*, 1986.
- [46] Open Source Initiative. (2008). *Open Source Definition*. Disponible en: <http://www.opensource.org>.
- [47] T. O'reilly, "What is Web 2.0: Design patterns and business models for the next generation of software," *International Journal of Digital Economics*, vol. 65, no. 1, pp. 17-37, 2007.
- [48] A. Trejo Pulido, M. Domínguez Dorado y P. Ramsamy, "El Software Libre en los Organismos Públicos de Ámbito Estatal," CENATIC, Badajoz, Spain, 978-84-15927-00-6, 2011. Disponible en: <http://bit.ly/2tKWgln>.
- [49] F. J. García-Peñalvo y A. M. Seoane-Pardo, "Una revisión actualizada del concepto de eLearning. Décimo Aniversario," *Education in the Knowledge Society*, vol. 16, no. 1, pp. 119-144, 2015. doi: 10.14201/eks2015161119144.
- [50] F. J. García-Peñalvo y B. Gros, "Future trends in the design strategies and technological affordances of e-learning," en *Learning, Design, and Technology. An International Compendium of Theory, Research, Practice, and Policy*, M. Spector, B. B. Lockee y M. D. Childress, Eds. pp. 1-23, Switzerland: Springer International Publishing, 2016. doi: 10.1007/978-3-319-17727-4_67-1.
- [51] S. Wilson, O. Liber, M. Johnson, P. Beauvoir, P. Sharples y C. Milligan, "Personal Learning Environments: Challenging the dominant design of educational systems," *Journal of e-Learning and Knowledge Society*, vol. 3, no. 3, pp. 27-38, 2007.
- [52] G. Attwell, "The personal learning environments–The future of eLearning?," *eLearning Papers*, vol. 2, no. 1, 2007.
- [53] O. Barbosa y C. Alves, "A systematic mapping study on software ecosystems," en *3rd International Workshop on Software Ecosystems 2011, IWSECO 2011*, vol. 746 pp. 15-26, Brussels, Belgium: CEUR-WS, 2011.
- [54] T. Ruokolainen y L. Kutvonen, "An architecture framework for facilitating sustainability of open service ecosystems," en *Proceedings of the 2012 IEEE 16th International Enterprise Distributed Object Computing Conference Workshops*, C. H. Chi y G. Grossmann, Eds. IEEE International Enterprise Distributed Object Conference Workshops, pp. 84-93, New York: IEEE, 2012. doi: 10.1109/edocw.2012.21.
- [55] H. B. Christensen, K. M. Hansen, M. Kyng y K. Manikas, "Analysis and design of software ecosystem architectures - Towards the 4S telemedicine ecosystem,"

- Information and Software Technology*, vol. 56, no. 11, pp. 1476-1492, 2014. doi: 10.1016/j.infsof.2014.05.002.
- [56] D. C. Schmidt, "Model-Driven Engineering," *Computer*, vol. 39, no. 2, pp. 25-31, 2006. doi: 10.1109/MC.2006.58.
 - [57] K. Lewin, "Action research and minority problems," *Journal of social issues*, vol. 2, no. 4, pp. 34-46, 1946.
 - [58] M. Suárez Pazos, "Algunas reflexiones sobre la investigación-acción colaboradora en la educación," *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, vol. 1, no. 1, pp. 1-17, 2002.
 - [59] R. L. Baskerville, "Investigating information systems with action research," *Communications of the AIS*, vol. 2, no. 3, p. 4, 1999.
 - [60] S. Kemmis, "Point-by-point guide to action research," *Victoria: Deakin University*, 1984.
 - [61] R. McTaggart y S. Kemmis, *The action research planner*. Geelong, Australia: Deakin University, 1988.
 - [62] R. Bisquerra Alzina, *Metodología de la investigación educativa* (Manuales de Metodología de Investigación Educativa). Madrid: Editorial La Muralla, 2004.
 - [63] A. Latorre Beltran, *La investigación-acción: Conocer y cambiar la práctica educativa*. Barcelona, España: Grao, 2003.
 - [64] T. Wood-Harper, "Research methods in information systems: using action research," *Research methods in information systems*, pp. 169-191, 1985.
 - [65] B. W. Boehm, "A spiral model of software development and enhancement," *SIGSOFT Softw. Eng. Notes*, vol. 11, no. 4, pp. 14-24, 1986. doi: 10.1145/12944.12948.
 - [66] B. W. Boehm, "A Spiral Model of Software Development and Enhancement," *Computer*, vol. 21, no. 5, pp. 61-72, 1988. doi: 10.1109/2.59.
 - [67] B. Kitchenham y S. Charters, "Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. Version 2.3," EBSE-2007-01, 2007. Disponible en: <http://bit.ly/2Kr7M6l>.
 - [68] F. J. García-Peñalvo, *Proyecto Universidad Digital. Vicerrectorado de Innovación Tecnológica*. Salamanca, España: Universidad de Salamanca, 2008.
 - [69] GRIAL Group, "GRIAL Research Group Scientific Production Report (2011-2017). Version 2.0," GRIAL Research Group, University of Salamanca, Salamanca, Spain, GRIAL-TR-2018-004, 2018. Disponible en: <https://goo.gl/kiUFn9>. doi: 10.5281/zenodo.1217097.
 - [70] A. García-Holgado y F. J. García-Peñalvo, "Análisis de integración de soluciones basadas en software como servicio para la implantación de ecosistemas tecnológicos corporativos," en *Avances en Informática y Automática. Séptimo Workshop*, J. Cruz-Benito, A. García-Holgado, S. García-Sánchez, D. Hernández-Alfageme, M. Navarro-Cáceres y R. Vega-Ruiz, Eds. pp. 55-72, Salamanca: Departamento de Informática y Automática de la Universidad de Salamanca, 2013.
 - [71] F. J. García-Peñalvo *et al.*, "TRAILER project (Tagging, recognition, acknowledgment of informal learning experiences). A Methodology to make visible learners' informal learning activities to the institutions," *Journal of Universal Computer Science*, vol. 19, no. 11, pp. 1661-1683, 2013. doi: 10.3217/jucs-019-11-1661.
 - [72] F. J. García-Peñalvo, M. Johnson, G. R. Alves, M. Minović y M. Á. Conde-González, "Informal learning recognition through a cloud ecosystem," *Future Generation Computer Systems*, vol. 32, pp. 282-294, 2014. doi: 10.1016/j.future.2013.08.004.

- [73] F. J. García-Peñalvo *et al.*, "TRAILER project overview: Tagging, recognition and acknowledgment of informal learning experiences," en *Proceedings of 2012 International Symposium on Computers in Education (SIIE) (Andorra La Vella, Andorra, October 29-31, 2012)* pp. 1-6: Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE Catalog Number CFP1486T-ART, 2012.
- [74] F. J. García-Peñalvo *et al.*, "Tagging, Recognition, Acknowledgment of Informal Learning experiences (TRAILER)," en *Proceedings of the TEEM'13 Track on Knowledge Society Related Projects (Salamanca, Spain, November 14-15, 2013)*, F. J. García-Peñalvo, A. García-Holgado y J. Cruz-Benito, Eds. pp. 7-13, Salamanca, Spain: Research GRoup in InterAction and eLearning (GRIAL), 2013. doi: 10.13140/RG.2.1.4757.2002.
- [75] T. Hill y R. Westbrook, "SWOT analysis: it's time for a product recall," *Long range planning*, vol. 30, no. 1, pp. 46-52, 1997.
- [76] A. García-Holgado, "Análisis de integración de soluciones basadas en software como servicio para la implantación de ecosistemas tecnológicos corporativos," Tesis de master, Department of Computer Science and Automatic Control, University of Salamanca, Salamanca, España, 2013.
- [77] A. García-Holgado y F. J. García-Peñalvo, "Architectural pattern for the definition of eLearning ecosystems based on Open Source developments," en *Proceedings of 2014 International Symposium on Computers in Education (SIIE) (Logroño, La Rioja, Spain, November 12-14, 2014)*, J. L. Sierra-Rodríguez, J. M. Dodero-Beardo y D. Burgos, Eds. pp. 93-98: Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE Catalog Number CFP1486T-ART, 2014. doi: 10.1109/SIIE.2014.7017711.
- [78] Business Process Model, "Notation (BPMN) Version 2.0," *OMG Specification, Object Management Group*, 2011.
- [79] A. García-Holgado y F. J. García-Peñalvo, "Architectural pattern to improve the definition and implementation of eLearning ecosystems," *Science of Computer Programming*, vol. 129, pp. 20-34, 2016. doi: 10.1016/j.scico.2016.03.010.
- [80] J. García Molina, F. O. García Rubio, V. Pelechano, A. Vallecillo, J. M. Vara y C. Vicente-Chicote, *Desarrollo de software dirigido por modelos: Conceptos, métodos y herramientas*. Madrid: Ra-Ma, 2013.
- [81] A. García-Holgado y F. J. García-Peñalvo, "A Metamodel Proposal for Developing Learning Ecosystems," en *Learning and Collaboration Technologies. Novel Learning Ecosystems. 4th International Conference, LCT 2017. Held as Part of HCI International 2017, Vancouver, BC, Canada, July 9-14, 2017. Proceedings, Part I*, vol. 10295, P. Zaphiris y A. Ioannou, Eds. pp. 100-109, Switzerland: Springer International Publishing, 2017. doi: 10.1007/978-3-319-58509-3_10.
- [82] Object Management Group, "Meta Object Facility specification 2.5.1," Object Management Group, Needham, MA, USA, formal/16-11-01, 2016. Disponible en: <https://goo.gl/YpC4nE>.
- [83] A. García-Holgado y F. J. García-Peñalvo, "Definición de ecosistemas de aprendizaje independientes de plataforma," en *IV Congreso Internacional sobre Aprendizaje, Innovación y Competitividad (CINAIC 2017) (Zaragoza, Spain, October 4-6, 2017)* pp. 668-673, 2017. doi: 10.26754/CINAIC.2017.000001_143.
- [84] A. García-Holgado y F. J. García-Peñalvo, "Preliminary validation of the metamodel for developing learning ecosystems," en *Proceedings of the 5th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM 2017) (Cádiz, Spain, October 18-20, 2017)*, J. M. Dodero, M. S. Ibarra Sáiz y I. Ruiz Rube, Eds. ACM International Conference Proceeding Series (ICPS), New York, NY, USA: ACM, 2017. doi: 10.1145/3144826.3145439.

- [85] Eclipse Foundation. (2015). *Description of the interface for the Ecore dialect of UML*. Disponible en: <http://bit.ly/2KBR9AR>.
- [86] Eclipse Foundation. *Eclipse*. Disponible en: <https://www.eclipse.org>.
- [87] J. J. López-Fernández, E. Guerra y J. de Lara, "Assessing the Quality of Meta-models," en *MoDeVVA*, vol. 1235, F. Boulanger, M. Famelis y D. Ratiu, Eds. pp. 3-22, Valencia, Spain: CEUR Workshop Proceedings, 2014.
- [88] F. J. García-Peñalvo, "Revisión sistemática de literatura en los Trabajos de Final de Máster y en las Tesis Doctorales," Grupo GRIAL, Salamanca, España, 2017. Disponible en: <http://bit.ly/2NdRNGh>. doi: 10.5281/zenodo.399302.
- [89] B. Kitchenham, "Procedures for Performing Systematic Reviews," Keele, UK, TR/SE-0401, 2004. Disponible en: <http://bit.ly/2yW3zCg>.
- [90] B. Kitchenham, O. Pearl Brereton, D. Budgen, M. Turner, J. Bailey y S. Linkman, "Systematic literature reviews in software engineering – A systematic literature review," *Information and Software Technology*, vol. 51, no. 1, pp. 7-15, 2009/01/01 2009. doi: 10.1016/j.infsof.2008.09.009.
- [91] L. Codina. (2015). *No lo llame Análisis Bibliográfico, llámelo Revisión Sistematizada. Y cómo llevarla a cabo con garantías: Systematized Reviews + SALSA Framework*. Disponible en: <http://bit.ly/2KiDct>.
- [92] M. Petticrew y H. Roberts, *Systematic Reviews in the Social Sciences: A Practical Guide*. Malden, USA: Blackwell Publishing, 2005.
- [93] K. Beck *et al.*, "Agile Manifesto," Agile Alliance 2001. Disponible en: <https://goo.gl/uXEUwJ>.
- [94] J. M. Dodero *et al.*, "Development of e-learning solutions: Different approaches, a common mission," *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje (IEEE RITA)*, vol. 9, no. 2, pp. 72-80, 2014. doi: 10.1109/RITA.2014.2317532.
- [95] K. Schwaber, "Scrum development process," en *Business Object Design and Implementation*, J. Sutherland, C. Casanave, J. Miller, P. Patel y G. Hollowell, Eds. pp. 117-134, London, UK: Springer, 1997.
- [96] K. Schwaber y M. Beedle, *Agile Software Development with SCRUM*. Upper Saddle River, NJ, USA Prentice Hall, PRT, 2001.
- [97] G. Verheyen, *Scrum – A Pocket Guide*. Zaltbommel, Netherlands: Van Haren Publishing, 2013.
- [98] K. Schwaber y J. Sutherland, *The Scrum Guide*, 2017. [Online]. Disponible en: <http://bit.ly/2KzUP5P>.
- [99] K. Schwaber y J. Sutherland Eds., "Software in 30 Days: How Agile Managers Beat the Odds, Delight Their Customers, and Leave Competitors in the Dust." New York, NY, USA: John Wiley & Sons, 2012. doi: 10.1002/9781119203278.
- [100] M. Arenilla Sáez Ed. "Conocimiento transformador y talento público. El caso del INAP." Madrid, Spain: National Institute of Public Administration, 2014.
- [101] F. J. García-Peñalvo, "Education in knowledge society: A new PhD programme approach," en *Proceedings of the First International Conference on Technological Ecosystem for Enhancing Multiculturality (TEEM'13) (Salamanca, Spain, November 14-15, 2013)* pp. 575-577, New York, NY, USA: ACM, 2013.
- [102] F. J. García-Peñalvo, "Formación en la sociedad del conocimiento, un programa de doctorado con una perspectiva interdisciplinar," *Revista Teoría de la Educación: Educación y Cultura en la Sociedad de la Información*, vol. 15, no. 1, pp. 4-9, 2014.
- [103] F. J. García-Peñalvo, M. J. Rodríguez-Conde, A. M. Seoane-Pardo, M. A. Conde-González, V. Zangrando y A. García-Holgado, "GRIAL (GRupo de investigación en InterAcción y eLearning), USAL," *IE Comunicaciones: Revista Iberoamericana de Informática Educativa*, no. 15, pp. 85-94, 2012.

- [104] Grupo GRIAL, "Informe de Producción Científica (2011-2017) del Grupo de Investigación GRIAL. Versión 2.0," Grupo GRIAL, Universidad de Salamanca, Salamanca, España, GRIAL-TR-2018-003, 2018. Disponible en: <https://goo.gl/qyC9E3>. doi: 10.5281/zenodo.1217088.
- [105] F. J. García-Peñalvo *et al.*, "Developing win-win solutions for virtual placements in informatics: the VALS case," en *Proceedings of the Second International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality*, 2014, pp. 733-738: ACM
- [106] F. J. García-Peñalvo y J. Cruz-Benito. (2015). *Informe de Buena Práctica - Proyecto Europeo VALS y Semester of Code: Prácticas Virtuales en Empresas y Fundaciones relacionadas con el Software Libre a nivel Europeo*. Disponible en: <http://bit.ly/2Kyxwwj>.
- [107] F. J. García-Peñalvo y J. Cruz-Benito, "Proyecto Europeo VALS y Semester of Code: Prácticas Virtuales en Empresas y Fundaciones relacionadas con el Software Libre a nivel Europeo (Versión póster)," presentado en Seminario Biental "La Universidad Digital". Taller de Buenas Prácticas: Presentación de Experiencias, Madrid, 11 de junio, 2015. Disponible: <http://bit.ly/2z1PYcw>.
- [108] F. J. García-Peñalvo *et al.*, "VALS: Virtual Alliances for Learning Society," en *Proceedings of the TEEM'13 Track on Knowledge Society Related Projects (Salamanca, Spain, November 14-15, 2013)*, F. J. García-Peñalvo, A. García-Holgado y J. Cruz-Benito, Eds. pp. 19-26, Salamanca, Spain: Research Group in InterAction and eLearning (GRIAL), 2013.
- [109] F. J. García-Peñalvo, J. Cruz-Benito, M. Á. Conde y D. Griffiths, "Semester of Code: Piloting Virtual Placements for Informatics across Europe," en *Proceedings of Global Engineering Education Conference, EDUCON 2015. Tallinn, Estonia, 18-20 March 2015* pp. 567-576, USA: IEEE, 2015. doi: 10.1109/EDUCON.2015.7096026.
- [110] F. J. García-Peñalvo, J. Cruz-Benito, M. Á. Conde y D. Griffiths, "Virtual placements for informatics students in open source business across Europe," en *2014 IEEE Frontiers in Education Conference Proceedings (October 22-25, 2014 Madrid, Spain)* pp. 2551-2555, USA: IEEE, 2014. doi: 10.1109/FIE.2014.7044411.
- [111] F. J. García-Peñalvo, J. Cruz-Benito, D. Griffiths y A. P. Achilleos, "Tecnología al servicio de un proceso de gestión de prácticas virtuales en empresas: Propuesta y primeros resultados del Semester of Code," *IEEE VAEP-RITA*, vol. 3, no. 1, pp. 52-59, 2015.
- [112] F. J. García-Peñalvo, J. Cruz-Benito, D. Griffiths y A. P. Achilleos, "Virtual placements management process supported by technology: Proposal and firsts results of the Semester of Code," *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje (IEEE RITA)*, vol. 11, no. 1, pp. 47-54, 2016. doi: 10.1109/RITA.2016.2518461.
- [113] F. J. García-Peñalvo, "Entrepreneurial and problem solving skills in software engineers," *Journal of Information Technology Research*, vol. 8, no. 3, pp. iv-vi, 2015.
- [114] F. J. García-Peñalvo *et al.*, "Understanding the barriers to virtual student placements in the Semester of Code," *Education in the Knowledge Society*, vol. 17, no. 1, pp. 147-173, 2016. doi: 10.14201/eks2016171147173.
- [115] F. J. García-Peñalvo y J. Durán-Escudero, "Interaction design principles in WYRED platform," en *Learning and Collaboration Technologies. Technology in Education. 4th International Conference, LCT 2017. Held as Part of HCI International 2017, Vancouver, BC, Canada, July 9-14, 2017. Proceedings, Part II*, P. Zaphiris y A. Ioannou, Eds. pp. 371-381, Switzerland: Springer International Publishing, 2017. doi: 10.1007/978-3-319-58515-4_29.

- [116] F. Michavila, M. Martín-González, J. M. Martínez, F. J. García-Peñalvo y J. Cruz-Benito, "Analyzing the employability and employment factors of graduate students in Spain: The OEEU Information System," en *Proceedings of the Third International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'15) (Porto, Portugal, October 7-9, 2015)*, G. R. Alves y M. C. Felgueiras, Eds. ACM International Conference Proceeding Series (ICPS), pp. 277-283, New York, USA: ACM, 2015.
- [117] J. Cruz-Benito, J. C. Sánchez-Prieto, A. Vázquez-Ingelmo, R. Therón, F. J. García-Peñalvo y M. Martín-González, "How different versions of layout and complexity of web forms affect users after they start it? A pilot experience," en *Trends and Advances in Information Systems and Technologies*, vol. 2, Á. Rocha, H. Adeli, L. P. Reis y S. Costanzo, Eds. Advances in Intelligent Systems and Computing, no. AISC 746, pp. 971-979, Cham: Springer, 2018. doi: 10.1007/978-3-319-77712-2_92.
- [118] J. Cruz-Benito, A. Vázquez-Ingelmo, J. C. Sánchez-Prieto, R. Therón, F. J. García-Peñalvo y M. Martín-González, "Enabling adaptability in web forms based on user characteristics detection through A/B testing and machine learning," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 2251-2265, 2018. doi: 10.1109/ACCESS.2017.2782678.
- [119] A. Vázquez-Ingelmo, J. Cruz-Benito y F. J. García-Peñalvo, "Improving the OEEU's data-driven technological ecosystem's interoperability with GraphQL," en *Fifth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'17) (Cádiz, Spain, October 18-20, 2017)* J. M. Dodero, M. S. Ibarra Sáiz y I. Ruiz Rube, Eds. ACM International Conference Proceeding Series (ICPS), New York, NY, USA: ACM, 2017. doi: 10.1145/3144826.3145437.
- [120] A. Vázquez-Ingelmo, J. Cruz-Benito, F. J. García-Peñalvo y M. Martín-González, "Scaffolding the OEEU's Data-Driven Ecosystem to Analyze the Employability of Spanish Graduates," en *Global Implications of Emerging Technology Trends*, F. J. García-Peñalvo, Ed. pp. 236-255, Hershey PA, USA: IGI Global, 2018. doi: 10.4018/978-1-5225-4944-4.ch013.
- [121] F. Michavila, M. Martín-González, J. M. Martínez, F. J. García-Peñalvo y J. Cruz-Benito, *Barómetro de Empleabilidad y Empleo de los Universitarios en España, 2015 (Primer informe de resultados)*. Madrid, Spain: Observatorio de Empleabilidad y Empleo Universitarios, 2016.
- [122] F. Michavila, J. M. Martínez, M. Martín-González, F. J. García-Peñalvo, J. Cruz-Benito y A. Vázquez-Ingelmo, *Barómetro de empleabilidad y empleo universitarios. Edición Máster 2017*. Madrid, España: Observatorio de Empleabilidad y Empleo Universitarios, 2018. Disponible en: <https://goo.gl/qK3kqo>.
- [123] F. J. García-Peñalvo, "The WYRED Project: A Technological Platform for a Generative Research and Dialogue about Youth Perspectives and Interests in Digital Society," *Journal of Information Technology Research*, vol. 9, no. 4, pp. vi-x, 2016.
- [124] F. J. García-Peñalvo, "WYRED Project," *Education in the Knowledge Society*, vol. 18, no. 3, pp. 7-14, 2017. doi: 10.14201/eks2017183714.
- [125] F. J. García-Peñalvo y N. A. Kearney, "Networked youth research for empowerment in digital society: the WYRED project," en *Proceedings of the Fourth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'16) (Salamanca, Spain, November 2-4, 2016)*, F. J. García-Peñalvo, Ed. ACM International Conference Proceeding Series (ICPS), pp. 3-9, New York, NY, USA: ACM, 2016. doi: 10.1145/3012430.3012489.

- [126] F. J. García-Peñalvo, A. García-Holgado, A. Vázquez-Ingelmo y A. M. Seoane-Pardo, "Usability test of WYRED Platform," en *Learning and Collaboration Technologies. Design, Development and Technological Innovation. 5th International Conference, LCT 2018. Held as Part of HCI International 2018, Las Vegas, NV, USA, July 15–20, 2018*, Switzerland: Springer International Publishing, 2018. doi: 10.1007/978-3-319-91743-6_5.
- [127] F. J. García-Peñalvo, M. Franco Martín, A. García-Holgado, J. M. Toribio Guzmán, J. Largo Antón y M. C. Sánchez-Gómez, "Psychiatric patients tracking through a private social network for relatives: development and pilot study," *Journal of Medical Systems*, vol. 40, no. 7, p. Paper 172, 2016. doi: 10.1007/s10916-016-0530-5.
- [128] J. M. Toribio-Guzmán, A. García-Holgado, F. Soto Pérez, F. J. García-Peñalvo y M. Franco Martín, "Usability Evaluation of a Private Social Network on Mental Health for Relatives," *Journal of Medical Systems*, journal article vol. 41, no. 9, p. 137, July 29 2017. doi: 10.1007/s10916-017-0780-x.
- [129] F. J. García-Peñalvo, "En clave de innovación educativa. Construyendo el nuevo ecosistema de aprendizaje," presentado en I Congreso Internacional de Tendencias en Innovación Educativa, CITIE 2016, Arequipa, Perú, 2016. Disponible: <https://goo.gl/8HQovc>.
- [130] F. J. García-Peñalvo, "La evolución de los sistemas software educativos: Los ecosistemas tecnológicos de aprendizaje," presentado en Programa de Doctorado en Ingeniería Informática Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España, 28 de abril de 2017, 2017. Disponible: <https://goo.gl/Ykwrtv>. doi: 10.5281/zenodo.569347.
- [131] A. García-Holgado y F. J. García-Peñalvo, "Gestión del conocimiento abierto mediante ecosistemas tecnológicos basados en soluciones Open Source," en *Ecosistemas del Conocimiento Abierto*, J. A. Merlo Vega, Ed., Salamanca, Spain: Ediciones Universidad de Salamanca, 2018.
- [132] M. Á. Conde-González, "Personalización del aprendizaje: Framework de servicios para la integración de aplicaciones online en los sistemas de gestión del aprendizaje," Tesis doctoral, Departamento de Informática y Automática, Universidad de Salamanca, Salamanca, España, 2012.
- [133] M. J. Casany, M. Alier, M. Á. Conde y F. J. García-Peñalvo, "SOA initiatives for eLearning. A Moodle case," en *23rd International Conference on Advanced Information Networking and Applications, AINA 2009, Workshops Proceedings. The International Symposium on Mining and Web (MAW 2009)* pp. 750-755, Los Alamitos, California, USA: IEEE Computer Society, 2009. doi: 10.1109/waina.2009.196.
- [134] J. Cruz-Benito, R. Therón, F. J. García-Peñalvo y E. Pizarro Lucas, "Discovering usage behaviors and engagement in an educational virtual world," *Computers in Human Behavior*, vol. 47, no. 18-25, 2015. doi: 10.1016/j.chb.2014.11.028.
- [135] F. J. García-Peñalvo, "Engineering contributions to a Knowledge Society multicultural perspective," *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje (IEEE RITA)*, vol. 10, no. 1, pp. 17-18, 2015. doi: 10.1109/RITA.2015.2391371.
- [136] A. García-Holgado, F. J. García-Peñalvo y M. J. Rodríguez-Conde, "Definition of a Technological Ecosystem for Scientific Knowledge Management in a PhD Programme," en *Proceedings of the Third International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'15) (Porto, Portugal, October 7-9, 2015)*, G. R. Alves y M. C. Felgueiras, Eds. ACM

- International Conference Proceeding Series (ICPS), pp. 695-700, New York, NY, USA: ACM, 2015. doi: 10.1145/2808580.2808686.
- [137] W. Scacchi, "Free/Open Source Software Development: Recent Research Results and Methods," en *Advances in Computers*, vol. 69, M. V. Zelkowitz, Ed. pp. 243-295: Elsevier, 2007. doi: 10.1016/S0065-2458(06)69005-0.
- [138] L. Yu, S. Ramaswamy y J. Bush, "Software Evolvability: An Ecosystem Point of View," en *Third International IEEE Workshop on Software Evolvability 2007*, 2007, pp. 75-80 doi: 10.1109/SE.2007.8.
- [139] F. J. García-Peñalvo, C. García de Figuerola y J. A. Merlo Vega, "Open knowledge: challenges and facts," *Online Information Review*, vol. 34, no. 4, pp. 520-539, 2010. doi: doi:10.1108/14684521011072963.
- [140] M. S. Ramírez-Montoya, F. J. García-Peñalvo y R. McGreal, "Shared Science and Knowledge. Open Access, Technology and Education," *Comunicar*, vol. 26, no. 54, pp. 1-5, 2018.
- [141] UNESCO, *Informe Mundial de la UNESCO: Hacia las sociedades del conocimiento*. Paris: Ediciones UNESCO, 2005.
- [142] M. Castells, *La dimensión cultural de Internet*. Barcelona, España: FUOC, 2002.
- [143] OECD, *Knowledge Management in the Learning Society*. Paris: OECD Publishing, 2000. Disponible en: <http://bit.ly/2KEtSxY>. doi: 10.1787/9789264181045-en.
- [144] I. Nonaka y H. Takeuchi, *The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation*. Oxford, UK: Oxford university press, 1995.
- [145] A. Hargreaves, *Teaching in the knowledge society: Education in the age of insecurity*. Teachers College Press, 2003.
- [146] W. R. King, "Knowledge Management and Organizational Learning," en *Knowledge Management and Organizational Learning*, vol. 4, W. R. King, Ed. Annals of Information Systems, pp. 3-13: Springer US, 2009. doi: 10.1007/978-1-4419-0011-1_1.
- [147] R. Uit Beijerse, "Knowledge management in small and medium-sized companies: knowledge management for entrepreneurs," *Journal of knowledge management*, vol. 4, no. 2, pp. 162-179, 2000.
- [148] D. Jelenic, "The importance of knowledge management in Organizations—with emphasis on the balanced scorecard learning and growth Perspective," en *Management, Knowledge and Learning, International Conference*, 2011
- [149] J. C. Spender, "Making knowledge the basis of a dynamic theory of the firm," *Strategic Management Journal*, vol. 17, no. S2, pp. 45-62, 1996. doi: doi:10.1002/smj.4250171106.
- [150] D. J. Teece, "Strategies for Managing Knowledge Assets: the Role of Firm Structure and Industrial Context," *Long Range Planning*, vol. 33, no. 1, pp. 35-54, 2000/02/01/ 2000. doi: 10.1016/S0024-6301(99)00117-X.
- [151] S. Durst y I. Runar Edvardsson, "Knowledge management in SMEs: a literature review," *Journal of Knowledge Management*, vol. 16, no. 6, pp. 879-903, 2012. doi: doi:10.1108/13673271211276173.
- [152] S. Cohen y N. Kaimenakis, "Intellectual capital and corporate performance in knowledge-intensive SMEs," *The Learning Organization*, vol. 14, no. 3, pp. 241-262, 2007. doi: doi:10.1108/09696470710739417.
- [153] M. B. Nunes, F. Annansingh, B. Eaglestone y R. Wakefield, "Knowledge management issues in knowledge-intensive SMEs," *Journal of Documentation*, vol. 62, no. 1, pp. 101-119, 2006.

- [154] A. Wickert y R. Herschel, "Knowledge-management issues for smaller businesses," *Journal of Knowledge Management*, vol. 5, no. 4, pp. 329-337, 2001. doi: doi:10.1108/13673270110411751.
- [155] K. C. Desouza y Y. Awazu, "Knowledge management at SMEs: five peculiarities," *Journal of Knowledge Management*, vol. 10, no. 1, pp. 32-43, 2006. doi: doi:10.1108/13673270610650085.
- [156] L. Zapata Cantú, J. Rialp Criado y A. Rialp Criado, "Generation and transfer of knowledge in IT-related SMEs," *Journal of Knowledge Management*, vol. 13, no. 5, pp. 243-256, 2009. doi: doi:10.1108/13673270910988088.
- [157] L. d. M. S. Borges y R. Falbo, "Managing software process knowledge," en *Proceedings of the International Conference on Computer Science, Software Engineering, Information Technology, e-Business, and Applications (CSITeA'2002)*, 2002, pp. 227-232
- [158] T. H. Davenport, D. W. De Long y M. C. Beers, "Successful knowledge management projects," *Sloan management review*, vol. 39, no. 2, pp. 43-57, 1998.
- [159] T. H. Davenport y L. Prusak, *Working knowledge: How organizations manage what they know*. Boston, USA: Harvard Business School Press, 1998.
- [160] J. Birkinshaw y T. Sheehan, "Managing the Knowledge Life Cycle," *MIT Sloan management review*, vol. 44, no. 1, pp. 75-84, 2003.
- [161] S. Staab, R. Studer, H. P. Schnurr y Y. Sure, "Knowledge processes and ontologies," *IEEE Intelligent Systems*, vol. 16, no. 1, pp. 26-34, 2001. doi: 10.1109/5254.912382.
- [162] J. Ward y A. Aurum, "Knowledge management in software engineering - describing the process," en *2004 Australian Software Engineering Conference. Proceedings.*, Melbourne, Victoria, Australia, 2004, pp. 137-146: IEEE doi: 10.1109/ASWEC.2004.1290466.
- [163] I. Nonaka, "A dynamic theory of organizational knowledge creation," *Organization science*, vol. 5, no. 1, pp. 14-37, 1994. doi: 10.1287/orsc.5.1.14.
- [164] I. Nonaka, R. Toyama y N. Konno, "SECI, Ba and Leadership: a Unified Model of Dynamic Knowledge Creation," *Long Range Planning*, vol. 33, no. 1, pp. 5-34, 2000/02/01/ 2000. doi: 10.1016/S0024-6301(99)00115-6.
- [165] J. J. Tarí Guilló y M. García Fernández, "Dimensiones de la gestión del conocimiento y de la gestión de la calidad: una revisión de la literatura," *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa*, vol. 15, no. 3, pp. 135-148, 2009. doi: 10.1016/S1135-2523(12)60105-1.
- [166] M. Castells, *La era de la información: economía, sociedad y cultura*. México: Siglo XXI, 1999.
- [167] A. C. C. Natali y R. Falbo, "Knowledge management in software engineering environments," en *Proceedings of the XVI Brazilian Symposium on Software Engineering (SBES'2002)*, 2002, pp. 238-253
- [168] A. García-Holgado, J. Cruz-Benito y F. J. García-Peñalvo, "Análisis comparativo de la gestión del conocimiento en la administración pública española," en *III Congreso Internacional sobre Aprendizaje, Innovación y Competitividad (CINAIC 2015) (Madrid, Spain, October 14-16, 2015)* pp. 602-607, 2015.
- [169] M. C. Meiler Rodríguez, "Propuesta metodológica de envejecimiento activo basada en aprendizaje en red: Comunidad Seventi," Centro de Innovación para la Sociedad de la Información - CICEI, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria, 2014.
- [170] E. Rubio, A. Ocón, M. Galán, S. Marrero y J. C. Nelson, "A personal and corporative process-oriented knowledge manager: Suricata model," 2004, vol. 1: European University Information Systems (EUNIS)

- [171] S. Marrero, A. Ocón, M. Galán y E. Rubio, "Methodology for the generation and maintenance of a "base of procedures" in process-oriented knowledge management strategy," 2005: European University Information Systems (EUNIS)
- [172] E. Rubio Royo, S. Cranfield McKay, J. C. Nelson-Santana, R. N. Delgado Rodríguez y A. A. Ocon-Carreras, "Web Knowledge Turbine as a Proposal for Personal and Professional Self-Organisation in Complex Times: Application to Higher Education," *Journal of Information Technology Research (JITR)*, vol. 11, no. 1, pp. 70-90, 2018. doi: 10.4018/JITR.2018010105.
- [173] S. R. Marrero, J. C. Nelson, M. Galán, A. Ocón y E. Rubio, "Metodología para organizar, recuperar y compartir recursos de información y conocimiento en un centro I+D+i en la Plataforma Suricata," 2005.
- [174] I. Nonaka, "The knowledge-creating company," *Harvard Business Review*, vol. 69, no. 6, pp. 96-104, 1991.
- [175] K. C. Laudon y J. P. Laudon, *Essentials of Management Information Systems: Transforming Business and Management*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1991.
- [176] B. Langefors, "Information systems theory," *Information Systems*, vol. 2, no. 4, pp. 207-219, 1977. doi: 10.1016/0306-4379(77)90009-6.
- [177] T. Weiblen, A. Giessmann, A. Bonakdar y U. Eisert, "Leveraging the software ecosystem: Towards a business model framework for marketplaces," en *Proceedings of the International Conference on Data Communication Networking, e-Business and Optical Communication Systems* pp. 187-193: SciTePress, 2012.
- [178] F. Llorens-Largo, R. Molina, P. Compañ y R. Satorre, "Technological Ecosystem for Open education," en *Smart Digital Futures 2014*, vol. 262, R. Neves-Silva, G. A. Tsihrintzis, V. Uskov, R. J. Howlett y L. C. Jain, Eds. pp. 706-715: IOS Press, 2014. doi: 10.3233/978-1-61499-405-3-706.
- [179] G. Siemens, T. Hug, Ed. *Connectivism: creating a learning ecology in distributed environments* (Didactics of microlearning. Concepts, discourses and examples). New York, NY, USA: Waxmann Verlag, 2007.
- [180] E. Rubio Royo. (2012). *Estrategia Suricata de adecuación a una Universidad en transformación: perfiles eAprendiz, eProfesor, eEstudiante*. Disponible en: <https://goo.gl/VjhRzq>.
- [181] M. S. Ramírez-Montoya y F. J. García-Peñalvo, "Movimiento Educativo Abierto," *Virtualis*, vol. 6, no. 12, pp. 1-13, 2015.
- [182] M. S. Ramírez-Montoya y F. J. García-Peñalvo, "Co-creation and open innovation: Systematic literature review," *Comunicar*, vol. 26, no. 54, 2018.
- [183] D. Griffiths y F. J. García-Peñalvo, "Informal learning recognition and management," *Computers in Human Behavior*, vol. 55A, no. 501-503, 2016. doi: 10.1016/j.chb.2015.10.019.
- [184] D. Lerís y M. L. Sein-Echaluce, "La personalización del aprendizaje: Un objetivo del paradigma educativo centrado en el aprendizaje," *Arbor*, vol. 187, no. Extra_3, pp. 123-134, 2011. doi: 10.3989/arbor.2011.
- [185] J. Stanley y G. Briscoe, "The ABC of digital business ecosystems," *Communications law: journal of computer, media, and telecommunications law*, vol. 15, no. 1, pp. 1-24, 2010.
- [186] I. Van den Berk, S. Jansen y L. Luinenburg, "Software ecosystems: a software ecosystem strategy assessment model," presentado en *Proceedings of the Fourth European Conference on Software Architecture: Companion Volume*, Copenhagen, Denmark, 2010. doi: 10.1145/1842752.1842781.

- [187] B. Iyer, C. H. Lee y N. Venkatraman, "Managing in a "Small World Ecosystem": Some Lessons from the Software Sector," *California Management Review*, vol. 48, no. 3, pp. 28-47, 2006.
- [188] B. Iyer y N. Venkatraman, "The changing architecture of global work: Opportunities and challenges," en *Keane Workshop*, 2006
- [189] S. Jansen, S. Brinkkemper y A. Finkelstein, "Business Network Management as a Survival Strategy: A Tale of Two Software Ecosystems," en *Proceedings of the First International Workshop on Software Ecosystems (IWSECO-2009)*, vol. 505: CEUR-WS, 2009.
- [190] P. B. Nassar, Y. Badr, F. Biennier y K. Barbar, "Extended BPEL with heterogeneous authentication mechanisms in service ecosystems," presentado en *Proceedings of the International Conference on Management of Emergent Digital EcoSystems*, France, 2009. doi: 10.1145/1643823.1643847.
- [191] K. Rong y Y. Shi, "Constructing business ecosystem from firm perspective: cases in high-tech industry," en *Proceedings of the International Conference on Management of Emergent Digital EcoSystems* pp. 417-421, New York, NY, USA: ACM, 2009. doi: 10.1145/1643823.1643900.
- [192] M. Lungu, M. Lanza, T. Gîrba y R. Robbes, "The Small Project Observatory: Visualizing software ecosystems," *Science of Computer Programming*, vol. 75, no. 4, pp. 264-275, 2010. doi: 0.1016/j.scico.2009.09.004.
- [193] J. Bosch, "From software product lines to software ecosystems," en *Proceedings of the 13th International Software Product Line Conference* pp. 111-119, San Francisco, California, USA: Carnegie Mellon University, 2009.
- [194] J. Bosch y P. M. Bosch-Sijtsema, "Softwares product lines, global development and ecosystems: Collaboration in software engineering," en *Collaborative Software Engineering* pp. 77-92, Berlin, Heidelberg: Springer, 2010. doi: 10.1007/978-3-642-10294-3_4.
- [195] J. Bosch y P. M. Bosch-Sijtsema, "From integration to composition: On the impact of software product lines, global development and ecosystems," *Journal of Systems and Software*, vol. 83, no. 1, pp. 67-76, 2010. doi: 10.1016/j.jss.2009.06.051.
- [196] A. d. L. Fontão, R. P. d. Santos y A. C. Dias-Neto, "Mobile Software Ecosystem (MSECO): A Systematic Mapping Study," en *2015 IEEE 39th Annual Computer Software and Applications Conference*, vol. 2 pp. 653-658, 2015. doi: 10.1109/COMPSAC.2015.121.
- [197] F. Lin y W. Ye, "Operating System Battle in the Ecosystem of Smartphone Industry," en *2009 International Symposium on Information Engineering and Electronic Commerce* pp. 617-621, USA: IEEE, 2009. doi: 10.1109/IEEC.2009.136.
- [198] O. Franco-Bedoya, D. Ameller, D. Costal y X. Franch, "Open source software ecosystems: A Systematic mapping," *Information and Software Technology*, vol. 91, pp. 160-185, 2017/11/01 2017. doi: 10.1016/j.infsof.2017.07.007.
- [199] K. Pillai, H. King y C. Ozansoy, "Hierarchy Model to Develop and Simulate Digital Habitat Ecosystem Architecture," en *2012 IEEE Student Conference on Research and Development (SCORED)*, USA: IEEE, 2012. doi: 10.1109/SCORED.2012.6518639.
- [200] S. S. Ostadzadeh, F. Shams y K. Badie, "An architectural model framework to improve digital ecosystems interoperability," en *New Trends in Networking, Computing, E-learning, Systems Sciences, and Engineering. Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol. 312, K. Elleithy y T. Sobh, Eds. pp. 513-520, Cham: Springer, 2015. doi: 10.1007/978-3-319-06764-3_65.

- [201] T. Ruokolainen, "Modelling framework for interoperability management in collaborative computing environments," Licentiate thesis, University of Helsinki, Department of Computer Science, 2009.
- [202] T. Ruokolainen y L. Kutvonen, "Framework for managing features of open service ecosystems," en *Handbook of Research on Non-Functional Properties for Service-Oriented Systems: Future Directions*, S. Reiff-Marganiec y M. Tilly, Eds. pp. 491-523, Hershey: IGI Global, 2011. doi: 10.4018/978-1-61350-432-1.ch021.
- [203] J. Shen, L. Zhang, Z. Fan, M. Abbasi y I. Rafique, "A UML-based software services ecosystem modeling approach," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 198-199, pp. 766-771, 2012.
- [204] G. Robles, J. M. Gonzalez-Barahona y I. Herraiz, "Evolution of the core team of developers in libre software projects," en *2009 6th IEEE International Working Conference on Mining Software Repositories(MSR)* pp. 167-170, USA: IEEE, 2009. doi: 10.1109/MSR.2009.5069497.
- [205] K. Nakakoji, Y. Yamamoto, Y. Nishinaka, K. Kishida y Y. Ye, "Evolution patterns of open-source software systems and communities," en *Proceedings of the international workshop on Principles of software evolution*, 2002, pp. 76-85: ACM
- [206] C. Alves, J. Oliveira y S. Jansen, "Software Ecosystems Governance - A Systematic Literature Review and Research Agenda," presentado en *Proceedings of the 19th International Conference on Enterprise Information Systems*, 2017. doi: 10.5220/0006269402150226.
- [207] R. Molina-Carmona, P. Compañ-Rosique, R. Satorre-Cuerda, C. J. Villagrà-Arnedo, F. J. Gallego-Durán y F. Llorens-Largo, "Technological Ecosystem Maps for IT Governance: Application to a Higher Education Institution," en *Open Source Solutions for Knowledge Management and Technological Ecosystems* pp. 50-80, Hershey, PA, USA: IGI Global, 2017. doi: 10.4018/978-1-5225-0905-9.ch003.
- [208] D. Fonseca, M. Á. Conde y F. J. García-Peñalvo, "Improving the information society skills: Is knowledge accessible for all?," *Universal Access in the Information Society*, journal article vol. 17, no. 2, pp. 229-245, 2018. doi: 10.1007/s10209-017-0548-6.
- [209] V. Rajeshwar, "Software Engineering for Technological Ecosystems," en *Open Source Solutions for Knowledge Management and Technological Ecosystems* pp. 175-194, Hershey, PA, USA: IGI Global, 2017. doi: 10.4018/978-1-5225-0905-9.ch007.
- [210] L. P. Prieto y P. Dillenbourg, "The orchestration matrix: A tool to design heterogeneous classroom ecosystems," en *Proceedings of the Orchestrated Collaborative Classroom Workshop 2015*, vol. 1411, Y. Dimitriadis, A. Harrer, L. P. Prieto, J. D. Slotta y M. Milrad, Eds. pp. 20-24, Gothenburg, Sweden: CEUR-WS, 2015.
- [211] A. Hernández-García y M. A. Conde, "Dealing with complexity: Educational data and tools for learning analytics," en *Proceedings of the Second International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'14) (Salamanca, Spain, October 1-3, 2014)*, F. J. García-Peñalvo, Ed. ACM International Conference Proceeding Series (ICPS), pp. 263-268, New York, NY, USA: ACM, 2014. doi: 10.1145/2669711.2669909.
- [212] R. Leardi, *Nature-inspired methods in chemometrics: genetic algorithms and artificial neural networks*. Elsevier, 2003.
- [213] L. N. De Castro, *Fundamentals of natural computing: basic concepts, algorithms, and applications*. CRC Press, 2006.

- [214] A. J. Willis, "Arthur Roy Clapham, 24 May 1904 - 18 December 1990," *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society*, vol. 39, pp. 73–90, 1994. doi: 10.1098/rsbm.1994.0005.
- [215] "Ecosistema," en *Diccionario de la Lengua Española (DLE)*: Real Academia Española (RAE), 2017. Disponible en: <http://bit.ly/2NfaxFp>.
- [216] "Ecosystem," en *Encyclopædia Britannica*, 2017. Disponible en: <http://bit.ly/2yWP7tK>.
- [217] Biology Online. *Ecosystem*. Disponible en: <http://bit.ly/2KqzIac>.
- [218] "Ecosistema," en *Diccionario Enciclopédico Vox 1*: Larousse Editorial S.L., 2009.
- [219] M. Berthelemy. (2013, June, 2013). Definition of a learning ecosystem. En: *Learning Conversations*. Disponible en: <http://bit.ly/2KpgOR5>.
- [220] T. Mens, A. Serebrenik y A. Cleve Eds., "Evolving Software Systems." Berlin, Heidelberg: Springer, 2014. doi: 10.1007/978-3-642-45398-4.
- [221] Millennium Ecosystem Assessment, *Ecosystems and human well-being: Biodiversity Synthesis*. Washington, DC: World Resources Institute, 2005.
- [222] K. Chopra, R. Leemans, P. Kumar y H. Simons Eds., "Ecosystems and human well-being: policy responses." Island Press, 2005.
- [223] Millennium Ecosystem Assessment, *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Washington, DC: Island Press, 2005. Disponible en: <http://bit.ly/2tU5CRu>.
- [224] B. W. Boehm, "Some future trends and implications for systems and software engineering processes," *Systems Engineering*, vol. 9, no. 1, pp. 1-19, 2006. doi: 10.1002/sys.20044.
- [225] E. W. Dijkstra, "Software Engineering: As It Should Be," en *Proceedings of the 4th International Conference on Software Engineering (Munich, Germany, September, 1979)* pp. 442-448: IEEE Computer Society Press, 1979.
- [226] A. Sutcliffe, S. Fickas y M. M. Sohlberg, "Personal and contextual requirements engineering," en *Proceedings of 13th IEEE International Conference on Requirements Engineering (RE'05)* pp. 19-28, USA: IEEE, 2005. doi: 10.1109/RE.2005.51.
- [227] E. Goncalves da Silva, L. Ferreira Pires y M. J. van Sinderen, "Supporting Dynamic Service Composition at Runtime based on End-user Requirements," en *Proceedings of the International Workshop on User-generated Services, UGS 2009, located at the 7th International Conference on Service Oriented Computing, ICSOC 2009*, S. Dustdar et al., Eds. CEUR Workshop Proceedings 540, Aachen: CEUR Workshop Proceedings, 2009.
- [228] H. R. Boohar, "Introduction: Human Systems Integration," en *Handbook of Human Systems Integration*, H. R. Boohar, Ed. pp. 1-30, Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons Inc., 2003. doi: 10.1002/0471721174.ch1.
- [229] J. Knodel y K. Manikas, "Towards a Typification of Software Ecosystems," en *Software Business. ICSOB 2015. Lecture Notes in Business Information Processing*, vol. 2010, J. Fernandes, R. Machado y K. Wnuk, Eds. Software Business, pp. 60-65, Cham: Springer, 2015. doi: 10.1007/978-3-319-19593-3_5.
- [230] C. Darwin, *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. London: John Murray, 1859.
- [231] T. Mens, M. Claes y P. Grosjean, "ECOS: Ecological studies of open source software ecosystems," en *2014 Software Evolution Week - IEEE Conference on Software Maintenance, Reengineering, and Reverse Engineering (CSMR-WCRE)*, 2014, pp. 403-406: IEEE doi: 10.1109/CSMR-WCRE.2014.6747205.
- [232] J. Lamarck, *Philosophie zoologique*. Paris: Dentu, 1809.

- [233] E. Rosenberg y I. Zilber-Rosenberg, "Symbiosis and development: The hologenome concept," *Birth Defects Research Part C: Embryo Today: Reviews*, vol. 93, no. 1, pp. 56-66, 2011. doi: doi:10.1002/bdrc.20196.
- [234] E. Rosenberg, O. Koren, L. Reshef, R. Efrony y I. Zilber-Rosenberg, "The role of mi-croorganisms in coral health, disease and evolution," *Nature Reviews Microbiology*, vol. 5, no. 5, pp. 355-362, 2007.
- [235] D. H. Janzen, "WHEN IS IT COEVOLUTION?," *Evolution*, vol. 34, no. 3, pp. 611-612, 1980. doi: 10.1111/j.1558-5646.1980.tb04849.x.
- [236] F. J. García-Peñalvo y D. Griffiths, "Transferring knowledge and experiences from informal to formal learning contexts," en *Proceedings of the Second International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'14)*, F. J. García-Peñalvo, Ed. ACM International Conference Proceeding Series (ICPS), pp. 569-572, New York, USA: ACM, 2014. doi: 10.1145/2669711.2669957.
- [237] K. Petersen, R. Feldt, S. Mujtaba y M. Mattsson, "Systematic mapping studies in software engineering," presentado en Proceedings of the 12th international conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering, Italy, 2008.
- [238] K. Petersen, S. Vakkalanka y L. Kuzniarz, "Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update," *Information and Software Technology*, vol. 64, pp. 1-18, 2015. doi: 10.1016/j.infsof.2015.03.007.
- [239] G. Hanssen y T. Dybå, "Theoretical foundations of software ecosystems," presentado en 4th International Workshop on Software Ecosystems 2012, IWSECO 2012, Cambridge, MA, USA, June 18th, 2012, 2012.
- [240] F. Fotrousi, S. A. Fricker, M. Fiedler y F. Le-Gall, "KPIs for Software Ecosystems: A Systematic Mapping Study," en *Software Business. Towards Continuous Value Delivery. ICSOB 2014. Lecture Notes in Business Information Processing*, vol. 182, C. Lassenius y K. Smolander, Eds. pp. 194-211, Cham: Springer, 2014. doi: 10.1007/978-3-319-08738-2_14.
- [241] S. Hyrynsalmi, m. Seppänen, T. Nokkala, A. Suominen y A. Järvi, "Wealthy, Healthy and/or Happy — What does 'Ecosystem Health' Stand for?," en *Software Business. ICSOB 2015. Lecture Notes in Business Information Processing*, vol. 210, J. Fernandes, R. Machado y K. Wnuk, Eds. Software Business, pp. 272-287, Cham: Springer, 2015. doi: 10.1007/978-3-319-19593-3_24.
- [242] K. Manikas, "Revisiting software ecosystems Research: A longitudinal literature study," *Journal of Systems and Software*, vol. 117, pp. 84-103, 2016/07/01 2016. doi: 10.1016/j.jss.2016.02.003.
- [243] O. Pettersson y J. Andersson, "A Survey of Modeling Approaches for Software Ecosystems," en *Software Business. Lecture Notes in Business Information Processing*, vol. 240, A. Maglyas y A. L. Lamprecht, Eds. Software Business, pp. 79-93, Cham: Springer, 2016.
- [244] A. Vegendla, A. N. Duc, S. Gao y G. Sindre, "A Systematic Mapping Study on Requirements Engineering in Software Ecosystems," *Journal of Information Technology Research*, vol. 11, no. 1, pp. 49-69, 2018. doi: 10.4018/jitr.2018010104.
- [245] K. Manikas, "Supporting the Evolution of Research in Software Ecosystems: Reviewing the Empirical Literature," en *Software Business. Lecture Notes in Business Information Processing*, vol. 240, A. Maglyas y A. L. Lamprecht, Eds. Software Business, pp. 63-78, Cham: Springer, 2016.
- [246] E. Papatheocharous, J. Andersson y J. Axelsson, "Ecosystems and Open Innovation for Embedded Systems: A Systematic Mapping Study," en *Software Business. ICSOB 2015. Lecture Notes in Business Information Processing*, vol. 210,

- J. Fernandes, R. Machado y K. Wnuk, Eds. *Software Business*, pp. 81-95, Cham: Springer, 2015. doi: 10.1007/978-3-319-19593-3_7.
- [247] M. Shaw, "Writing good software engineering research papers," en *25th International Conference on Software Engineering, 2003. Proceedings.* pp. 726-736, USA: IEEE, 2003. doi: 10.1109/ICSE.2003.1201262.
- [248] R. N. Taylor, "The role of architectural styles in successful software ecosystems," en *Proceedings of the 17th International Software Product Line Conference* pp. 2-4, New York, NY, USA: ACM, 2013. doi: 10.1145/2491627.2492152.
- [249] M. M. Mahbubul Syeed, A. Lokhman, T. Mikkonen y I. Hammouda, "Pluggable systems as architectural pattern: An ecosystemability perspective," en *ECSAW '15 Proceedings of the 2015 European Conference on Software Architecture Workshops* p. art. 42, New York, NY, USA: ACM, 2015. doi: 10.1145/2797433.2797477.
- [250] D. Parmenter, *Key performance indicators (KPI): developing, implementing, and using winning KPIs*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2010.
- [251] Object Management Group, "Unified Modeling Language specification version 2.5.1," Object Management Group, Needham, MA, USA, formal/17-12-05, 2017. Disponible en: <https://goo.gl/kaE82a>.
- [252] D. Moher, A. Liberati, J. Tetzlaff, D. G. Altman y PRISMA Group, "Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement," *PLoS medicine*, vol. 6, no. 7, p. e1000097, 2009. doi: 10.1371/journal.pmed1000097.
- [253] A. García-Holgado y F. J. García-Peñalvo. (2018). *Code repository that supports the Systematic Literature Review about architectures and MDE for technological ecosystems*. Disponible en: <http://bit.ly/2KARjbr>. doi: 10.5281/zenodo.1295679.
- [254] S. Stevanetic, K. Plakidas, T. B. Ionescu, F. Li, D. Schall y U. Zdun, "Tool support for the architectural design decisions in software ecosystems," en *ECSAW '15 Proceedings of the 2015 European Conference on Software Architecture Workshops* pp. 1-6, New York, NY, USA: ACM, 2015. doi: 10.1145/2797433.2797480.
- [255] J. Axelsson, U. Franke, J. Carlson, S. Sentilles y A. Cicchetti, "Towards the Architecture of a Decision Support Ecosystem for System Component Selection," en *2017 11th Annual IEEE International Systems Conference (SysCon)* Annual IEEE Systems Conference, pp. 371-377, New York, USA: IEEE, 2017. doi: 10.1109/SYSCON.2017.7934757.
- [256] O. Pettersson, M. Svensson, D. Gil, J. Andersson y M. Milrad, "On the role of software process modeling in software ecosystem design," en *Proceedings of the Fourth European Conference on Software Architecture: Companion Volume* pp. 103-110, New York, NY, USA: ACM, 2010. doi: 10.1145/1842752.1842778.
- [257] T. Janner, C. Schroth y B. Schmid, "Modelling Service Systems for Collaborative Innovation in the Enterprise Software Industry - The St. Gallen Media Reference Model Applied," en *2008 IEEE International Conference on Services Computing*, 2008, vol. 2, pp. 145-152 doi: 10.1109/SCC.2008.34.
- [258] E. B. Fernandez, N. Yoshioka, H. Washizaki y M. H. Syed, "Modeling and Security in Cloud Ecosystems," *Future Internet*, vol. 8, no. 4, art. 13, p. 15, Jun 2016. doi: 10.3390/fi8020013.
- [259] B. Lima y J. P. Faria, "A Model-Based Approach for Product Testing and Certification in Digital Ecosystems," en *Proceedings of the 2016 IEEE Ninth International Conference on Software Testing, Verification and Validation Workshops (ICSTW) (Chicago, IL, USA, 11-15 April 2016)* IEEE International Conference on Software Testing Verification and Validation Workshops, pp. 199-208, USA: IEEE, 2016. doi: 10.1109/ICSTW.2016.22.

- [260] U. Eklund y J. Bosch, "Architecture for embedded open software ecosystems," *Journal of Systems and Software*, vol. 92, pp. 128-142, 2014. doi: 10.1016/j.jss.2014.01.009.
- [261] B. Schmerl, D. Garlan, V. Dwivedi, M. W. Bigrigg, K. M. Carley y I. Lee, "SORASCS: A Case Study in SOA-based Platform Design for Socio-Cultural Analysis," en *2011 33rd International Conference on Software Engineering* pp. 643-652, New York: IEEE, 2011.
- [262] M. Heller y M. Allgaier, "Model-based service integration for extensible enterprise systems with adaptation patterns," en *Proceedings of the 2010 International Conference on e-Business (ICE-B) (Athens, Greece, 26-28 July 2010)*, D. Marca, B. Shishkov y M. Van Sinderen, Eds. pp. 1-6, USA: IEEE, 2010.
- [263] V. Boucharas, S. Jansen, S. Brinkkemper y AcM, "Formalizing Software Ecosystem Modeling," en *Iwoce 2009: International Workshop on Open Component Ecosystem* pp. 41-50, New York, NY, USA: ACM, 2009.
- [264] L. M. Camarinha-Matos, J. Rosas, A. I. Oliveira y F. Ferrada, "Care services ecosystem for ambient assisted living," *Enterprise Information Systems*, vol. 9, no. 5-6, pp. 607-633, 2013. doi: 10.1080/17517575.2013.852693.
- [265] C. Seidl y U. Aßmann, "Towards modeling and analyzing variability in evolving software ecosystems," en *VaMoS '13 Proceedings of the Seventh International Workshop on Variability Modelling of Software-intensive Systems* New York, NY, USA: ACM, 2013. doi: 10.1145/2430502.2430507.
- [266] T. Tang, Z. Wu, K. Karhu, M. Hämäläinen y Y. Ji, "Internationally Distributed Living Labs and Digital Ecosystems for Fostering Local Innovations in Everyday Life," *Journal of Emerging Technologies in Web Intelligence*, Article vol. 4, no. 1, pp. 106-115, 2012. doi: 10.4304/jetwi.4.1.106-115.
- [267] M. A. C. Bhakti, A. B. Abdullah y L. T. Jung, "Autonomic, self-organizing Service-Oriented Architecture in service ecosystem," en *4th IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies* pp. 153-158: IEEE, 2010. doi: 10.1109/DEST.2010.5610655.
- [268] F. J. García-Peñalvo, M. Alier y M. D. Lytras, "Some reflections about service oriented architectures, cloud computing applications, services and interoperability," *Journal of Universal Computer Science*, vol. 18, no. 11, pp. 1405-1409, 2012.
- [269] R. T. Fielding y R. N. Taylor, "Architectural styles and the design of network-based software architectures," Doctoral dissertation, University of California, Irvine, 2000.
- [270] L. Richardson y S. Ruby, *RESTful web services*. Sebastopol, CA, USA: O'Reilly, 2008.
- [271] F. Buschmann, R. Meunier, H. Rohnert, P. Sommerlad y M. Stal, *Pattern-oriented software architecture. A system of patterns. Vol. 1* (Wiley Series in Software Design Patterns). New York, USA: John Wiley & Sons, 1996.
- [272] J. A. Zachman, "A framework for information systems architecture," *IBM Systems Journal*, vol. 26, no. 3, pp. 276-292, 1987. doi: 10.1147/sj.263.0276.
- [273] E. Morris, L. Levine, C. Meyers, P. Place y D. Plakosh, "System of Systems Interoperability (SOSI)," Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, USA, CMU/SEI-2004-TR-004, 2004.
- [274] *ISO/IEC/IEEE 42010 Systems and software engineering - Architecture description*, 2011.
- [275] S. Jansen y G. van Capelleveen, "Quality review and approval methods for extensions in software ecosystems," en *Software Ecosystems: Analyzing and*

- Managing Business Networks in the Software Industry*, S. Jansen, M. A. Cusumano y S. Brinkkemper, Eds. pp. 187-217: Edgar Elgar Publishing, 2013.
- [276] M. Eriksson, V.-P. Niitamo y S. Kulkki, "State-of-the-art in utilizing Living Labs approach to user-centric ICT innovation-a European approach," Luleå University of Technology, Lulea, Sweden, 2005.
- [277] W. Inge van de y B. Sjaak, "Meta-Modeling for Situational Analysis and Design Methods," en *Handbook of Research on Modern Systems Analysis and Design Technologies and Applications*, S. Mahbubur Rahman y S. Sharifun Nessa, Eds. pp. 35-54, Hershey, PA, USA: IGI Global, 2009. doi: 10.4018/978-1-59904-887-1.ch003.
- [278] A. García-Holgado y F. J. García-Peñalvo, "Knowledge management ecosystem based on drupal platform for promoting the collaboration between public administrations," en *Proceedings of the Second International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'14) (Salamanca, Spain, October 1-3, 2014)*, F. J. García-Peñalvo, Ed. ACM International Conference Proceeding Series (ICPS), pp. 619-624, New York, NY, USA: ACM, 2014. doi: 10.1145/2669711.2669964.
- [279] C. Wohlin, P. Runeson, M. Höst, M. C. Ohlsson, B. Regnell y A. Wesslén, *Experimentation in Software Engineering*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2012. doi: 10.1007/978-3-642-29044-2.
- [280] M. Piattini Velthuis y L. Mengual Pavón, "Universidad Digital 2010," en *Libro Blanco de la Universidad Digital 2010*, J. Laviña Orueta y L. Mengual Pavón, Eds. pp. 5-27, Barcelona: Ariel, 2008.
- [281] J. Laviña Orueta y L. Mengual Pavón Eds., "Libro Blanco de la Universidad Digital 2010." Barcelona: Ariel, 2008.
- [282] F. J. García-Peñalvo, "Presentación de la Universidad de Salamanca Virtual," presentado en II Jornadas de e-learning en las Administraciones Públicas (1 y 2 de julio de 2008), Salamanca, España, 2008. Disponible: <https://goo.gl/DAsEhk>.
- [283] A. M. Seoane-Pardo, "Formalización de un modelo de formación online basado en el factor humano y la presencia docente mediante un lenguaje de patrón," PhD, Programa de Doctorado en Formación en la Sociedad del Conocimiento, Universidad de Salamanca, Salamanca, Spain, 2014. Disponible en: <https://goo.gl/sNrKHu>.
- [284] T. Ferreras-Fernández, J. A. Merlo-Vega y F. J. García-Peñalvo, "Impact of Scientific Content in Open Access Institutional Repositories. A case study of the Repository Gredos," en *Proceedings of the First International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'13) (Salamanca, Spain, November 14-15, 2013)*, F. J. García-Peñalvo, Ed. ACM International Conference Proceeding Series (ICPS), New York, NY, USA: ACM, 2013. doi: 10.1145/2536536.2536590.
- [285] F. J. García-Peñalvo, J. A. Merlo-Vega, T. Ferreras-Fernández, A. Casaus-Peña, L. Albás-Aso y M. L. Atienza-Díaz, "Qualified Dublin Core Metadata Best Practices for GREDOS," *Journal of Library Metadata*, vol. 10, no. 1, pp. 13-36, 2010/02/12 2010. doi: 10.1080/19386380903546976.
- [286] F. J. García-Peñalvo, C. García de Figuerola y J. A. Merlo Vega, "Open knowledge management in higher education," *Online Information Review*, vol. 34, no. 4, 2010.
- [287] F. J. García-Peñalvo, "Presentación del nuevo Campus Virtual Studium. Vicerrectorado de Innovación Tecnológica," ed. Salamanca, España: Universidad de Salamanca, 2008.

- [288] Grupo GRIAL, "Manual de identidad," Grupo GRIAL, Universidad de Salamanca, Salamanca, España, 2018. Disponible en: <https://goo.gl/NUsy8E>.
- [289] F. J. García-Peñalvo y M. Á. Conde, "Using informal learning for business decision making and knowledge management," *Journal of Business Research*, vol. 67, no. 5, pp. 686-691, 2014. doi: 10.1016/j.jbusres.2013.11.028.
- [290] N. Galanis, E. Mayol, M. J. Casañ y M. Alier, "Towards the Organization of a Portfolio to support Informal Learning," *International Journal of Engineering Education (IJEE)*, vol. 33, no. 2B, pp. 887-897, 2017.
- [291] N. Galanis, E. Mayol, M. Alier y F. J. García-Peñalvo, "Supporting, evaluating and validating informal learning. A social approach," *Computers in Human Behavior*, vol. 55A, pp. 596-603, 2016. doi: 10.1016/j.chb.2015.08.005.
- [292] International Labour Organization. *International Standard Classification of Occupations, ISCO-88*. Disponible en: <http://bit.ly/2MGRN0D>.
- [293] F. J. García-Peñalvo y M. Á. Conde, "Knowledge Management and decision making based on informal learning activities in business," en *Proceedings of the 2nd Global Innovation and Knowledge Academy (GIKA 2013)* 2013
- [294] JSON-RPC Working Group. (2013). *JSON-RPC 2.0 Specification*. Disponible en: <http://bit.ly/2Kz04Tv>.
- [295] IETF, "The OAuth 1.0 protocol," en *Request for Comments: 5849*, 2010.
- [296] T. A. Alspaugh, H. U. Asuncion y W. Scacchi, "The Role of Software Licenses in Open Architecture Ecosystems," en *Proceedings of the first International Workshop on Software Ecosystems 2009* pp. 4-18: CEUR-WS, 2009.
- [297] E. Gamma, R. Helm, R. Johnson y J. Vlissides, *Design patterns: Elements of reusable object oriented software* (Addison-Wesley Professional Computing Series). Boston, MA, USA: Addison-Wesley, 1995.
- [298] P. D. Costa, L. F. Pires y M. Van Sinderen, "Architectural Patterns for Context-Aware Services Platforms," en *Proceedings of the Second International Workshop on Ubiquitous Computing (IWUC 2005)* pp. 3-18, 2005.
- [299] Y. Huang y J.-Y. Chung, "A Web services-based framework for business integration solutions," *Electronic Commerce Research and Applications*, vol. 2, no. 1, pp. 15-26, 2003. doi: 10.1016/S1567-4223(03)00007-3.
- [300] M. Vigder, "The evolution, maintenance, and management of component-based systems," en *Component-Based Software Engineering: Putting the Pieces Together*, G. T. Heineman y W. T. Councill, Eds. pp. 527-539, Boston, MA, USA: Addison-Wesley, 2001.
- [301] Software Engineering Institute (SEI), "Ultra-Large-Scale Systems: Software Challenge of the Future," Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, USA, 2006.
- [302] J. Rumbaugh, M. Blaha, W. Premerlani, F. Eddy y W. E. Lorensen, *Object-oriented modeling and design*. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice Hall, 1991.
- [303] A. García-Holgado, J. Cruz-Benito y F. J. García-Peñalvo, "Analysis of Knowledge Management Experiences in Spanish Public Administration," en *Proceedings of the Third International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'15) (Porto, Portugal, October 7-9, 2015)*, G. R. Alves y M. C. Felgueiras, Eds. ACM International Conference Proceeding Series (ICPS), pp. 189-193, New York, NY, USA: ACM, 2015. doi: 10.1145/2808580.2808609.
- [304] F. J. García-Peñalvo, "Aportaciones de la Ingeniería en una Perspectiva Multicultural de la Sociedad del Conocimiento," *IEEE VAEP-RITA*, vol. 1, no. 4, pp. 201-202, 2013.

- [305] M. Á. Conde-González, F. J. García-Peñalvo, C. Fernández-Llamas y A. García-Holgado, "The Application of Business Process Model Notation to describe a Methodology for the Recognition, Tagging and Acknowledge of Informal Learning Activities," *International Journal of Engineering Education (IJEE)*, vol. 31, no. 3, pp. 884-892, 2015.
- [306] F. J. García-Peñalvo, R. Colomo-Palacios y M. D. Lytras, "Informal learning in work environments: training with the Social Web in the workplace," *Behaviour & Information Technology*, vol. 31, no. 8, pp. 753-755, 2012.
- [307] M. Á. Conde-González, F. J. García-Peñalvo, M. J. Rodríguez-Conde, M. Alíer y A. García-Holgado, "Perceived openness of Learning Management Systems by students and teachers in education and technology courses," *Computers in Human Behavior*, vol. 31, pp. 517-526, 2014. doi: 10.1016/j.chb.2013.05.023.
- [308] *Ley 19/2013, de 9 de diciembre, de transparencia, acceso a la información pública y buen gobierno*, 2013.
- [309] Z. Yin-Li y P. Wei, "Legal risk service portal system solution based on Liferay," en *The 2010 International Conference on Apperceiving Computing and Intelligence Analysis Proceeding* pp. 112-115, USA: IEEE, 2010. doi: 10.1109/ICACIA.2010.5709863.
- [310] Gobierno de España. (2011). *Real Decreto 99/2011, de 28 de enero, por el que se regulan las enseñanzas oficiales de doctorado*. Ministerio de Educación. no. BOE-A-2011-2541, no. 35, de 10 de febrero de 2011, sección Legislación consolidada, Madrid, España: Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. Disponible: <https://goo.gl/imEsz6>.
- [311] M. A. Tena-Espinoza-de-los-Monteros, A. García-Holgado, J. A. Merlo-Vega y F. J. García-Peñalvo, "Diseño de un plan de visibilidad científica e identidad digital para los investigadores de la Universidad de Guadalajara (México)," *Ibersid: Revista de sistemas de información y documentación*, vol. 11, no. 1, pp. 83-92, 2017.
- [312] I. T. Hawryszkiewicz, "A Metamodel for Modeling Collaborative Systems," *Journal of Computer Information Systems*, vol. 45, no. 3, pp. 63-72, 2005/03/01 2005. doi: 10.1080/08874417.2005.11645844.
- [313] M. H. Sadi y E. Yu, "Designing software ecosystems: How can modeling techniques help?," en *Enterprise, Business-Process and Information Systems Modeling. BPMDS 2015, EMMSAD 2015. Lecture Notes in Business Information Processing*, vol. 214, K. Gaaloul, R. Schmidt, S. Nurcan, S. Guerreiro y Q. Ma, Eds. pp. 360-375, Cham: Springer, 2015. doi: 10.1007/978-3-319-19237-6_23.
- [314] B. Hailpern y P. Tarr, "Model-driven development: The good, the bad, and the ugly," *IBM systems journal*, vol. 45, no. 3, pp. 451-461, 2006.
- [315] S. J. Mellor, K. Scott, A. Uhl y D. Weise, "Model-Driven Architecture," en *Advances in Object-Oriented Information Systems: OOIS 2002 Workshops Montpellier, France, September 2, 2002 Proceedings*, J.-M. Bruel y Z. Bellahsene, Eds. pp. 290-297, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2002. doi: 10.1007/3-540-46105-1_33.
- [316] D. Frankel, *Model Driven Architecture: Applying MDA to Enterprise Computing*. John Wiley & Sons, Inc., 2002.
- [317] B. Mora, F. Ruiz, F. García y M. Piattini, "Definición de Lenguajes de Modelos MDA vs DSL," Grupo Alarcos, Universidad de Castilla-La Mancha, España, 2006. Disponible en: <http://bit.ly/2Kzft9E>.
- [318] J. M. Álvarez, A. Evans y P. Sammut, "Mapping between Levels in the Metamodel Architecture," en *«UML» 2001 — The Unified Modeling Language. Modeling Languages, Concepts, and Tools. UML 2001. Lecture Notes in Computer Science*,

- vol. 2185, M. Gogolla y C. Kobryn, Eds. pp. 34-46, Berlin, Heidelberg: Springer, 2001. doi: 10.1007/3-540-45441-1_4.
- [319] D. Djuric, D. Gasevic y V. Devedzic, "The Tao of Modeling Spaces," *Journal of Object Technology*, vol. 5, no. 8, pp. 125-147, 2006.
 - [320] H. Jegadeesan y S. Balasubramaniam, "An MOF2-based Services Metamodel," *Journal of Object Technology*, vol. 7, no. 8, pp. 71-96, 2008.
 - [321] B. Simon, B. Goldschmidt y K. Kondorosi, "A Metamodel for the Web Services Standards," *Journal of Grid Computing*, journal article vol. 11, no. 4, pp. 735-752, 2013. doi: 10.1007/s10723-013-9273-4.
 - [322] F. Cao *et al.*, "A meta-modeling approach to Web services," en *Proceedings. IEEE International Conference on Web Services, 2004.*, 2004, pp. 796-799 doi: 10.1109/ICWS.2004.1314824.
 - [323] F. Jouault, F. Allilaire, J. Bézivin, I. Kurtev y P. Valduriez, "ATL: a QVT-like transformation language," en *Proceedings of the Companion to the 21st ACM SIGPLAN symposium on Object-oriented programming systems, languages, and applications (OOPSLA'16) (Portland, Oregon, USA, October 22-26, 2006)* pp. 719-720, New York, NY, USA: ACM, 2006.
 - [324] F. Jouault y I. Kurtev, "Transforming Models with ATL," en *Satellite Events at the MoDELS 2005 Conference. MODELS 2005. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 3844, J. M. Bruehl, Ed. pp. 128-138, Berlin, Heidelberg: Springer, 2006. doi: 10.1007/11663430_14.
 - [325] S. R. Chidamber y C. F. Kemerer, "A metrics suite for object oriented design," *IEEE Transactions on Software Engineering*, vol. 20, no. 6, pp. 476-493, 1994. doi: 10.1109/32.295895.
 - [326] A. Gerber y K. Raymond, "MOF to EMF: there and back again," en *Proceedings of the 2003 OOPSLA workshop on eclipse technology eXchange*, 2003, pp. 60-64: ACM
 - [327] A. García-Holgado y F. J. García-Peñalvo. (2018). *Code repository that supports the PhD thesis "Integration analysis of solutions based on software as a service to implement Educational Technological Ecosystems"*. Disponible en: <http://bit.ly/2tWpG5B>. doi: 10.5281/zenodo.1284567.
 - [328] F. J. García-Peñalvo, "Docencia," en *Libro blanco de la Universidad digital 2010*, J. Laviña Orueta y L. Mengual Pavón, Eds. pp. 29-61, Barcelona: Ariel, 2008.
 - [329] A. Navarro y A. da Silva, "A metamodel-based definition of a conversion mechanism between SOAP and RESTful web services," *Computer Standards & Interfaces*, vol. 48, pp. 49-70, 2016/11/01 2016. doi: 10.1016/j.csi.2016.03.004.
 - [330] F. Allilaire y T. Idrissi, "ADT: Eclipse development tools for ATL," en *Proceedings of the Second European Workshop on Model Driven Architecture (MDA) with an emphasis on Methodologies and Transformations (EWMDA-2)* pp. 171-178, 2004.
 - [331] F. J. García-Peñalvo, "Technological ecosystems for enhancing the interoperability and data flows," *Journal of Information Technology Research*, vol. 11, no. 1, pp. vi-x, 2018.
 - [332] F. J. García-Peñalvo y A. García-Holgado Eds., "Open Source Solutions for Knowledge Management and Technological Ecosystems," *Advances in Knowledge Acquisition, Transfer, and Management (AKATM) Book Series*. Hershey: IGI Global, 2017.
 - [333] A. García-Holgado y F. J. García-Peñalvo, "Patrón arquitectónico para la definición de ecosistemas de eLearning basados en desarrollos open source," en *Proceedings of 2014 International Symposium on Computers in Education (SIIE) (Logroño, La Rioja, Spain, November 12-14, 2014)*, J. L. S. Rodríguez, J. M. D.

- Beardo y D. Burgos, Eds. pp. 137-142, Logroño, La Rioja, España: Universidad Internacional de la Rioja (UNIR), 2014.
- [334] A. García-Holgado y F. J. García-Peñalvo, "Estudio sobre la evolución de las soluciones tecnológicas para dar soporte a la gestión de la información," Grupo GRIAL, Salamanca, Spain, Technical Report GRIAL-TR-2015-001, 2015. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10366/125415> doi: 10.13140/RG.2.1.5176.2727.
- [335] A. García-Holgado, F. J. García-Peñalvo, Á. Hernández-García y F. Llorens-Largo, "Analysis and Improvement of Knowledge Management Processes in Organizations Using the Business Process Model Notation," en *New Information and Communication Technologies for Knowledge Management in Organizations: 5th Global Innovation and Knowledge Academy Conference, GIKA 2015, Valencia, Spain, July 14-16, 2015, Proceedings*, D. Palacios-Marqués, D. R. Soriano y K. H. Huarng, Eds. Lecture Notes in Business Information Processing, no. 222, pp. 93-101, Switzerland: Springer International Publishing, 2015.
- [336] A. García-Holgado y F. J. García-Peñalvo, "Human interaction in learning ecosystems based in Open Source solutions," en *Learning and Collaboration Technologies. Design, Development and Technological Innovation. 5th International Conference, LCT 2018. Held as Part of HCI International 2018, Las Vegas, NV, USA, July 15-20, 2018*, vol. 10924, Switzerland: Springer International Publishing, 2018. doi: 10.1007/978-3-319-91743-6_17.
- [337] A. García-Holgado y F. J. García-Peñalvo, "Learning Ecosystem Metamodel Quality Assurance," en *Trends and Advances in Information Systems and Technologies. WorldCIST'18 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 745, Á. Rocha, A. Correia, H. Adeli, L. Reis y S. Costanzo, Eds. no. 745, pp. 787-796, Switzerland: Springer International Publishing, 2018. doi: 10.1007/978-3-319-77703-0_78.
- [338] J. M. Toribio Guzmán, A. García-Holgado, F. Soto Pérez, F. J. García-Peñalvo y M. Franco Martín, "Estudio de Usabilidad de la Red Social Privada SocialNet mediante Evaluación Heurística," en *Actas del XVII Congreso Internacional de Interacción Persona-Ordenador - Interacción 2016. 14-16 de septiembre de 2016, Salamanca, España*, L. Moreno López, E. J. Rubia Cuestas, V. M. R. Penichet y F. J. García-Peñalvo, Eds. pp. 75-77, Salamanca, España: Ediciones Universidad de Salamanca, 2016.
- [339] J. M. Toribio Guzmán, A. García-Holgado, F. Soto Pérez, F. J. García-Peñalvo y M. Franco Martín, "Study of the Usability of the Private Social Network SocialNet using Heuristic Evaluation," en *Proceedings of the Interacción '16 Proceedings of the XVII International Conference on Human Computer Interaction (Salamanca, Spain — September 13 - 16, 2016)*, L. Moreno López, E. J. Rubia Cuestas, V. M. R. Penichet y F. J. García-Peñalvo, Eds. p. Article 22, New York, NY, USA: ACM, 2016. doi: 10.1145/2998626.2998674.
- [340] J. M. Toribio-Guzmán, A. García-Holgado, F. Soto Pérez, F. J. García-Peñalvo y M. Á. Franco Martín, "Heuristic evaluation of SocialNet, the private social network for psychiatric patients and their relatives," en *Proceedings of the Fourth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'16) (Salamanca, Spain, November 2-4, 2016)*, F. J. García-Peñalvo, Ed. ACM International Conference Proceeding Series (ICPS), pp. 525-532, New York, NY, USA: ACM, 2016. doi: 10.1145/3012430.3012568.



VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL



PROGRAMA DE
DOCTORADO
FORMACIÓN EN LA
SOCIEDAD DEL
CONOCIMIENTO