

Model-to-Model Transformations for RIA Architectures: a Systematic Mapping Study

Daniel Bonhaure¹, Magali González¹, Nathalie Aquino¹, Luca Cernuzzi¹ y Claudia Pons^{2,3}

¹Departamento de Electrónica e Informática (DEI)
Universidad Católica “Nuestra Señora de la Asunción”, Paraguay.

²Comisión de Investigaciones Científicas de Buenos Aires (CIC), Fac. de Informática, UNLP, Argentina

³Universidad Abierta Interamericana (UAI), Argentina.

Abstract—Context: This study focus on Model-Driven Development (MDD), Rich Internet Applications (RIA) and model-to-model transformations related to that field.

Objective: The main aim of this study is to identify fields that require further contribution, and/or research opportunities in the previously mentioned context.

Method: We applied mapping studies techniques since this would allow a broader extent than reviews, by taking into consideration every paper related to our field of interest and not only those based on empirical studies.

Results: From an initial set of 80 papers, we selected 26 papers first, and another 3 papers were added later. Therefore, we considered 29 research papers.

Conclusion: The performed analysis led to various conclusions. Among the important ones, we can mention: there are many newly proposed methods, the scarcity of empirical work, the problem of the portability of platform independent model (PIM) and the low numbers of tools available for MDD.

Index Terms—Model-Driven Development, Model-Driven Architecture, Architectural Specific Model, Model-to-Model Transformation, Rich Internet Applications, Systematic Mapping Study.

I. INTRODUCCIÓN

A continuación se presenta una breve introducción en la que se abordan los antecedentes de este estudio y se identifican, además, las motivaciones de su realización.

I-A. Antecedentes

El Desarrollo de Software Dirigido por Modelos (MDD - del inglés “Model-Driven Development”) es una disciplina dentro de la ingeniería del software que, de un tiempo a esta parte, ha adquirido gran importancia y ha alcanzado avances considerables, al punto que hoy se la considera como “un nuevo paradigma de desarrollo de software” [1].

Emulando a los lenguajes de alto nivel e inspirado en su éxito, el enfoque MDD propone el uso de un mayor nivel de abstracción en la especificación tanto del problema como de la solución, en relación con los métodos tradicionales de desarrollo de software. La idea central es obtener código

Este trabajo ha sido desarrollado con el apoyo financiero del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT, Paraguay) en el marco del proyecto denominado “Mejorando el proceso de desarrollo de software: propuesta basada en MDD”(14-INV-056).

978-1-5090-1633-4/16/\$31.00 ©2016 IEEE

partiendo única y exclusivamente de los modelos generados en la etapa de diseño [1].

La Arquitectura Conducida por Modelos o MDA -propuesta para MDD del Object Management Group (OMG)- es actualmente la propuesta más extendida para MDD. En MDA, la funcionalidad del sistema es definida, en primer lugar, como un Modelo Independiente de la Plataforma o PIM. Estos PIMs son traducidos luego, mediante transformaciones modelo a modelo (M2M), a uno o varios Modelos Específicos de la Plataforma o PSM. Y finalmente, los PSM son traducidos a código mediante transformaciones modelo a texto (M2T) [1] [2].

Sin embargo, en los últimos años se han propuesto metodologías que agregan un nivel más al proceso definido por MDA. Este nuevo nivel de abstracción lo constituye el ASM (del inglés Architectural Specific Model) [3], que constituye un modelo intermedio entre el PIM y el PSM y cuya finalidad es la de enriquecer los modelos previos con información adicional referente a la arquitectura del sistema [4].

La motivación detrás de la definición de este nuevo nivel de abstracción se puede comprender analizando una de las arquitecturas web más difundidas actualmente, las arquitecturas RIA (del inglés Rich Internet Application).

Resulta que un gran número de las metodologías MDD existentes en la actualidad adoptan las arquitecturas RIA extendiendo sus PIM, más específicamente, la notación de sus PIM, con primitivas adicionales o patrones [4]. Evidencia de esto es que, por ejemplo, WebML define WebML RIA [5]; UWE, UWE para RIA [6]; OO-H, OOH4RIA [7]; etc.

Esta tendencia a extender el PIM con información referente a la arquitectura implica una clara violación al principio de portabilidad del PIM promovido tanto por MDD como por MDA. El ASM, por el contrario, propone trasladar la definición de los detalles referentes a la arquitectura, del espacio del problema (el PIM), al espacio de la solución, liberando al PIM de contenerla y contribuyendo a su tan ansiada portabilidad.

I-B. Motivaciones para realizar el SMS

La idea general de este mapeo es analizar las propuestas y los trabajos de investigación existentes con el fin de identificar áreas poco estudiadas, trabajos pendientes, y en general, cualquier oportunidad de investigación que pueda o requiera ser abordada en el futuro.

La elección de un Mapeo Sistemático de la Literatura (SMS) por sobre una Revisión Sistemática de la Literatura (SLR) obedece a que el mapeo ofrece un alcance más amplio que las revisiones al permitir la inclusión de todos los artículos que tratan sobre un área de interés y no solo aquellos que contengan o abarquen estudios empíricos [8].

Si bien no fue posible encontrar en la literatura otro SMS que abarque exactamente los mismos temas que los contemplados en este estudio, sí fueron hallados dos trabajos que siguen metodologías afines y que son bastante recientes, [9] y [10].

En [9] se presenta un SMS que analiza los 10 primeros años de las RIA, el periodo estudiado abarca desde el 2002, año en que el término RIA apareció por primera vez en un documento de Macromedia [11], y el 2011, el último año completo antes de la realización del estudio. Así también, en [10] se presenta un análisis dirigido, en primera instancia y según ellos mismos lo indican, por los principios generales establecidos para la realización de un SLR, pero que sin embargo, no fue publicado como tal.

El objetivo de este SMS es identificar “¿Qué se ha hecho?” y “¿Qué se debe hacer en el futuro?” en el contexto de las metodologías MDD enfocadas a arquitecturas RIA. Esto contrasta con los otros dos trabajos presentados previamente ya que [10] cubre solo MDD mientras [9] cubre solo RIA.

Por lo tanto este SMS difiere de los demás trabajos existentes en un aspecto fundamental, es el único en abarcar MDD y RIA en conjunto, más aún, es el único en abarcar las metodologías MDD con enfoque RIA analizando además las transformaciones M2M involucradas.

I-C. Estructura del documento

El resto del documento se estructura de la siguiente forma: la sección dos presenta la metodología utilizada para la realización de este estudio; en la sección tres se mencionan los resultados obtenidos; en la sección cuatro se plantea una discusión en la que se interpretan los resultados obtenidos en la sección anterior; por último, la sección cinco resume las conclusiones a las que se llegó durante la realización de este trabajo.

II. METODOLOGÍA

En esta sección se presentará la metodología utilizada para la realización del presente SMS.

II-A. Etapa de Planificación

En este apartado se presentan cada una de las tareas realizadas durante la planificación.

II-A1. Preguntas de Investigación: Las preguntas de investigación están definidas en el Cuadro I.

II-A2. Estrategia de Búsqueda: La estrategia de búsqueda se ha realizado teniendo en cuenta el problema de terminología existente en el ámbito de MDD. La denominación utilizada varía bastante dependiendo de distintos factores, como por ejemplo los estándares utilizados para definir cada uno de los elementos involucrados en el proceso, aspectos legales en

Cuadro I
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

	Preguntas	Motivación
Preguntas Macro de Investigación	PI1: ¿Cuáles son los objetivos perseguidos en la investigación sobre MDD y las transformaciones M2M?	Determinar dónde se encuentra la mayor parte del interés de investigación y qué áreas han sido poco investigadas, explorando conceptos básicos, recopilando conocimiento de prácticas actuales o con el objetivo de avanzar la práctica a través de la ciencia del diseño (Design Science).
	PI2: ¿Qué tipo de métodos se utilizaron en la investigación relacionada con MDD y las transformaciones M2M?	Determinar si las propuestas en este campo de investigación son más prácticas o más de investigación básica y también identificar oportunidades para realizar futuras investigaciones.
	PI3: ¿Cuál es el alcance de las propuestas en los trabajos presentados?	Determinar el tipo de resultados obtenidos en cada uno de los trabajos analizados, por ejemplo, nuevas propuestas, herramientas implementadas, etc.
	PI4: ¿Cuáles de las fases de modelado son contempladas?	Identificar qué fases de MDA adoptan cada una de las propuestas analizadas ya que algunas se ajustan más a lo definido por esta, mientras que otras menos, incluso algunas propuestas proponen nuevas fases.
	PI5: ¿La propuesta cuenta con herramientas que la soporten? ¿Cuál es el estado de desarrollo de estas herramientas?	Identificar si la propuesta llegó a ser más que solo eso, es decir, si existe alguna herramienta que permita probarla.
	PI6: ¿Cuál es el IDE señalado para la utilización de la herramienta propuesta?	Se pretende identificar el IDE para el cual fue desarrollada la herramienta propuesta.
Preguntas puntuales sobre transf. M2M	PI7: ¿Cuál es el nivel de automatización de la transformación M2M contemplada?	Identificar el nivel de automatización de las transformaciones M2M planteadas.
	PI8: ¿Pertenecen, los modelos origen y destino, al mismo nivel de abstracción?	Identificar el nivel de abstracción del los modelos origen y destino y analizarlos.
	PI9: ¿Cuál es el lenguaje en el que se expresan los modelos origen y destino?	Diferenciar si los modelos origen y destino están expresados en lenguajes diferentes o no.
	PI10: ¿Cuál es la relación entre los modelos origen y destino?	Identificar si el modelo destino constituye un nuevo modelo o se obtiene mediante una actualización del modelo origen.
	PI11: ¿Qué relación existe entre el número de modelos origen y destino?	Se pretende identificar si se permiten o no múltiples modelos origen y/o múltiples modelos destino.
	PI12: ¿Qué lenguaje de la transformación M2M utiliza la propuesta analizada?	Se busca identificar el lenguaje de transformación M2M utilizado.

cuanto a patentes existentes sobre algunos de los términos más comunes, etc.

Por ejemplo, el OMG mantiene marca registrada sobre MDA, así como varios términos similares incluyendo MDD [1]. Por lo tanto, cuando la comunidad científica internacional se refiere a ideas relacionadas con la ingeniería de modelos sin centrarse exclusivamente en los estándares del OMG, acostumbra usar el acrónimo MDE, que significa Model-Driven Software Engineering, debido a que este aún no ha sido

registrado por el OMG [1]. Y es en este sentido que utilizamos el acrónimo en el presente trabajo, a pesar de que estrictamente MDE es más general que MDD y MDA respectivamente e incluso los engloba, como bien se señala en [2].

Así también, otra corriente muy importante dentro de MDD, la comunidad científica española, utiliza mayormente el acrónimo DSDM que significa Desarrollo de Software Dirigido por Modelos en lugar de los tradicionales MDD, MDA o MDE (siempre tomándolos como eventuales sinónimos de MDD). Incluso una importante corriente de habla inglesa utiliza, en lugar de MDE, el acrónimo MDSE, acrónimo de Model-Driven Software Engineering.

Otra situación particular se da con el acrónimo de las transformaciones M2M. Algunos artículos mencionan los lenguajes de transformación implicados en este proceso, ATL (del inglés Atlas Transformation Language) o QVT (del inglés Query/View/Transformation), sin hacer una referencia explícita a las transformaciones M2M. Es por esta razón que en el presente trabajo se decidió tratar estos tres acrónimos como sinónimos a la hora de definir la estrategia de búsqueda.

Cuadro II
TÉRMINOS DE BÚSQUEDA

Términos principales	Términos alternativos
MDD, MDE, MDA	DSDM, MDSD, MDSE, Model-Driven, Model Driven
M2M, ATL, QVT	transformation, Model-to-Model
RIA	Rich Internet Applications

II-A2a. Cadena de Búsqueda: La selección realizada sobre los términos principales, sinónimos, palabras alternativas o términos relacionados con los términos principales se presenta en el Cuadro II y se fundamenta, sobre todo, en los aspectos citados en la sección anterior.

La cadena de búsqueda también se define a partir del Cuadro II mediante la ejecución de las siguientes instrucciones:

1. El término principal se une a los términos alternativos mediante el operador lógico OR.
2. Los términos principales se unen unos con otros mediante el operador lógico AND.

Resultando lo siguiente:

(“MDD” OR “DSDM” OR “MDSD” OR “MDE” OR
“MDSE” OR “MDA” OR “Model-Driven” OR “Model
Driven”)
AND

(“transformations” OR “M2M” OR “Model-to-Model” OR
“ATL” OR “QVT”)
AND

(“RIA” OR “Rich Internet Applications”)

II-A2b. Fuentes de Búsqueda: Continuando con el desarrollo de la estrategia de búsqueda, cabe comentar que se decidió realizar la búsqueda de información en el periodo comprendido entre el 2002 (en marzo de ese año el término RIA apareció por primera vez en un documento de Macromedia [11]) y el 2015. Se considera el año de aparición del término

RIA como límite inferior debido a que el presente estudio se centra en MDD para arquitecturas RIA.

Las bibliotecas digitales a ser utilizadas son las siguientes:

1. IEEE Xplore,
2. Springer Link

La cadena de búsqueda se aplica a cada una de las fuentes indicadas, buscando, siempre que el buscador de las bibliotecas digitales lo permita, en el título y el resumen, y cuando no, sobre el texto completo.

II-A3. Criterios de Selección de Estudios: Para la selección de estudios fueron definidos los siguientes criterios de inclusión y exclusión.

II-A3a. Criterios de Inclusión:

1. Publicaciones relacionadas con MDD para RIA.
2. Revistas académicas, artículos de conferencias y talleres.
3. Publicaciones en inglés, español y portugués.
4. Trabajos publicados entre el 2002 y el 2015.

II-A3b. Criterios de Exclusión (revisando los títulos y el resumen):

1. Publicaciones que no se centren en MDD para RIA.
2. Artículos de los cuales se disponga solo un resumen.
3. Publicaciones que no hayan sido revisadas por pares.
4. Publicaciones sobre el mismo estudio, duplicadas en diferentes fuentes.

II-A3c. Criterios de Exclusión (revisando el texto completo):

1. Publicaciones en las que se mencionen los criterios de búsqueda pero no los consideren sujetos de estudio.
2. Publicaciones sobre el mismo estudio, duplicadas en diferentes fuentes.

II-A4. Procedimiento de Selección de Estudios: El procedimiento de selección de estudios primarios comprende tres fases:

La primera fase consiste básicamente en la inclusión de todos aquellos artículos que cumplan con los criterios de inclusión definidos previamente y que hayan sido seleccionados siguiendo la estrategia de búsqueda definida.

La segunda fase consiste en aplicar, a todos los artículos obtenidos en la etapa anterior, los criterios de exclusión definidos para la revisión del título y el resumen. En caso de que exista alguna duda, es decir, en caso que el título y el resumen de un artículo no permitan discernir con claridad su exclusión, entonces este no será excluido en esta etapa.

La tercera fase, al igual que la anterior, toma como entrada los artículos obtenidos en la fase previa. Esta etapa consiste en la aplicación de los criterios de exclusión definidos para la lectura del artículo completo. Luego de la lectura del artículo completo ya no deberían existir dudas sobre su exclusión o inclusión, sin embargo, en caso de darse alguna, el artículo no será excluido. Esto obedece a que se considera más dañina una exclusión errónea que una inclusión errónea.

II-A5. Estrategia de Extracción de Datos: El formulario de extracción de datos tiene dos partes, la primera con los metadatos de cada estudio primario: título, autores, tipo de publicación, nombre de la conferencia/revista, año, etc. Y la segunda con las dimensiones y categorías del esquema

definido para clasificar los estudios primarios seleccionados. Este formulario se encuentra disponible en la siguiente url: www.dei.uc.edu.py/proyectos/mddplus/documentos/m2m-ria-a-sms/.

Se establece un esquema de clasificación teniendo en cuenta cada una de las preguntas de investigación (ver Cuadro I) y la literatura relevante (ver Cuadro III), para de esta forma restringir las respuestas posibles a cada una de las preguntas de investigación.

Cuadro III
DIMENSIONES / CATEGORÍAS

Dimensiones	Categorías
PI1: Objetivo de la investigación	Evaluar, Mejorar, Proponer. Evaluar y Mejorar, Evaluar y Proponer.
PI2: Tipo de evidencia/método de la investigación	Empírico: experimento, estudio de caso, encuesta. No empírico: especulación, ejemplos y sus variantes, proyectos de materia, revisiones y/o mapeos de la literatura.
PI3: Tipo de resultado de la investigación	Método (técnica, metodología, proceso). Herramienta, Método y Herr., Trazabilidad.
PI4: Fases de MDA	CIM ¹ , PIM, PSM. Combinaciones entre CIM, PIM y PSM. Ninguna.
PI5: Estado del desarrollo de una herramienta que aborde la propuesta	Nivel 0: no se propone una herramienta. Nivel 1: definición teórica o trabajo futuro. Nivel 2: implementación parcial. Nivel 3: implementación total. Nivel 4: disponibilidad de la herramienta. Nivel 5: disp. de herr. y documentación.
PI6: IDE propuesto	Eclipse. MagicDraw. Otro.
PI7: Nivel de automatización de la transformación M2M	Automática. Semi-Automática. Manual. Automática y Semi-Automática. Semi-Automática y Manual.
PI8: Clasificación según el nivel de abstracción de los modelos origen y destino	Transformación M2M Horizontal. Transformación M2M Vertical.
PI9: Clasificación según el lenguaje de los modelos origen y destino	Transformación M2M Endógena. Transformación M2M Exógena.
PI10: Relación entre los modelos origen y destino	Se puede dar que el destino sea un nuevo modelo, se actualice el modelo origen o ambas situaciones.
PI11: Número de modelos origen y destino	Uno a Uno. Uno a Muchos. Muchos a Uno. Muchos a Muchos.
PI12: Lenguaje de la transformación M2M	ATL, QVT o una combinación de ambos. Otro lenguaje de transformación.

II-A6. Síntesis de los Datos Extraídos: En primer lugar, se ha realizado una síntesis cuantitativa considerando el número

¹ Acrónimo del inglés Computational Independent Model.

y/o porcentaje de artículos en cada dimensión/categoría, ilustrándolos a través de tablas y/o gráficos, para de esta manera dar respuesta a cada pregunta de investigación, haciendo una correspondencia uno a uno entre pregunta y dimensión. También se ha considerado el cruce de dimensiones cuando resultó ser oportuno.

Finalmente, se ha llevado adelante una síntesis narrativa, esta se encuentra enmarcada en lo que sería una síntesis de tipo cualitativa.

II-B. Etapa de Realización

La aplicación del protocolo de revisión arrojó los resultados preliminares que se pueden ver en el Cuadro IV.

La búsqueda en las fuentes definidas arrojó 88 resultados, sin embargo, solo un total de 26 artículos fueron seleccionados luego de la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión.

Una situación particular se dio con tres propuestas que no fueron detectadas en la búsqueda realizada. WebML4RIA, OOHDM-RIA y RUX-Method. Resulta que ninguna de estas apareció en las búsquedas porque no proponen transformaciones M2M, sin embargo, son propuestas MDD de gran relevancia actualmente y consideramos oportuno incluirlas de todas formas.

Con esto, el número de artículos analizados se elevó a 29 (ver Cuadro IV).

Cuadro IV
RESULTADOS POR FUENTE

Fuente	Encontrados	Seleccionados
IEEE Xplore	31	7
Springer Link	57	19
Búsqueda manual	3	3

Así también, en el Cuadro V se mencionan los artículos seleccionados.

Cuadro V
ARTÍCULOS POR FUENTE

Fuente	Artículos
IEEE Xplore	[12], [13], [14], [15], [7], [16], [17]
Springer Link	[18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33], [34], [6], [35]
Búsqueda manual	[36], [5], [37]

III. RESULTADOS

Los resultados globales, que se basan en el recuento de los estudios primarios clasificados en cada una de las respuestas posibles a las preguntas de investigación definidas, son presentados en el Cuadro VI.

Las siguientes sub-secciones presentan el análisis de los resultados para cada una de las preguntas de investigación planteadas.

Cuadro VI
RESULTADOS POR PREGUNTA Y CATEGORÍA

PI	Categoría		Artículos
PI1	Evaluar		0
	Mejorar		2
	Proponer		13
	Evaluar y Mejorar		1
	Evaluar y Proponer		13
PI2	Empírico	Experimento	1
		Caso de Estudio	13
	No Empírico	Ejemplo	6
		Running example	3
		Example scenario	1
		Proyecto de materia	1
		SMS y/o SLR	0
Sin validación	4		
PI3	Método		7
	Herramienta		4
	Método y Herr.		17
	Trazabilidad		0
	Sin clasificar		1
PI4	CIM		0
	PIM		2
	PSM		3
	CIM y PIM		1
	CIM y PSM		1
	PIM y PSM		15
	CIM, PIM y PSM		5
	Otro		0
	Ninguna		2
	PI5	Nivel 0	No usa herramientas
Usa herr. existentes			5
Nivel 1		4	
Nivel 2		4	
Nivel 3		10	
Nivel 4		1	
PI6	Eclipse		15
	MagicDraw		2
	Otro		3
	Sin clasificar		9
	PI7	Automática	
Semi-Automática		15	
Manual		0	
Automática y Semi-Automática		2	
Semi-Automática y Manual		1	
PI8	Sin clasificar		4
	Horizontal		2
	Vertical		18
	Ambas		3
PI9	Sin clasificar		6
	Endógena		20
	Exógena		3
PI10	Sin clasificar		6
	Nuevo		20
	Actualización		0
	Ambos		3
PI11	Sin clasificar		8
	1 a 1		4
	1 a *		4
	* a 1		3
	* a *		10
PI12	Sin clasificar		4
	ATL		11
	QVT		11
	Otro		2
ATL y QVT		1	

III-A. Pregunta 1

El propósito de los objetivos de investigación planteados es determinar en qué se centra el interés de la investigación sobre

MDD orientado a RIA y descubrir áreas que han sido poco investigadas.

En general, los objetivos de investigación no son mutuamente excluyentes, es decir, un mismo artículo puede ser categorizado en más de una categoría. Para evitar que la sumatoria de los artículos categorizados dé resultados mayores a la cantidad de artículos analizados, se crearon algunas categorías especiales.

Como se puede observar en el Cuadro VI, la mayor parte del esfuerzo de investigación se centra en crear nuevas propuestas. Esto es además, sumamente visible, ya que de los 29 artículos seleccionados 26 proponen la extensión de propuestas MDD pre-existentes. Solo una de estas propuestas es multi-enfoque, es decir, propone una solución que puede ser adoptada por cualquier enfoque MDD.

De los tres artículos que plantean mejoras, dos presentan herramientas que pretenden facilitar, y sobre todo incentivar, la adopción de las propuestas. Mientras que el artículo restante plantea la unión de dos enfoques pre-existentes, aspirando a unificar las mejores características de ambos.

También es importante resaltar los artículos enfocados a evaluar propuestas. En total son 14 y fueron categorizados de esta manera debido a que presentan casos de estudio o experimentos como evidencia de validez de las ideas propuestas, y ambos métodos constituyen herramientas de evaluación válidas.

III-B. Pregunta 2

Los resultados según el método de investigación utilizado se muestran en el Cuadro VI. Los métodos de investigación pueden ser empíricos o no empíricos. Los métodos empíricos representan 14 de 29 artículos, mientras que los no empíricos constituyen 15 de 29 artículos.

La categoría no empírica incluye trabajos que no muestran ningún tipo de evidencia empírica sobre los aportes de la propuesta planteada. Como es posible contemplar en el Cuadro VI, el ejemplo es el método no empírico que se utiliza con mayor frecuencia, lo utilizan 10 de 15 artículos. Aunque de estos 10, 6 son ejemplos clásicos, 3 son ejemplos de ejecución (running examples) y 1 es un escenario de ejemplo (example scenario).

Así también, observando el Cuadro VI, es posible notar que 4 artículos no presentan ningún tipo de evidencia que respalde sus aportes mientras que 1 artículo presenta como evidencia pruebas realizadas con alumnos (planteadas como proyecto de materia).

Es importante señalar que al momento de realizar la revisión de la literatura para el presente estudio no fueron detectados ningún SMS ni ningún SLR. Lo que de alguna manera refuerza la necesidad de realización de este trabajo de investigación.

La categoría empírica, sin embargo, sí muestra evidencias empíricas que permiten validar la utilidad de las propuestas planteadas. En este caso, el método empírico mayormente utilizado es el caso de estudio, lo utilizan 13 de los 14 artículos categorizados como empíricos. Solo 1 de ellos plantea un experimento como método de validación.

III-C. Pregunta 3

La síntesis cuantitativa según el tipo de resultados que proponen, se muestra en el Cuadro VI, aquí nuevamente se da que las categorías no son mutuamente excluyentes. Esto se debe a que hay artículos que pueden ser clasificados en más de una categoría. Por ejemplo, sería razonable y hasta es de esperarse, que la mayoría de las propuestas planteen tanto un método como una herramienta.

Verificando los datos presentados en el Cuadro VI, se puede observar que, efectivamente, el tipo de resultado más frecuente es la definición conjunta de un método y una herramienta que lo soporte, lo que, como ya se mencionó previamente, es perfectamente razonable ya que constituye la mejor manera de respaldar el aporte de la propuesta.

Nuevos métodos MDD para RIA son propuestos en 24 de los 29 artículos analizados, 7 proponen únicamente un nuevo método mientras que 17 proponen a la vez un nuevo método y una herramienta. En contraste, los artículos que presentan únicamente nuevas herramientas son solo 4, aunque, como ya se mencionó, 17 proponen en conjunto, método y herramienta.

III-D. Pregunta 4

Antes de proceder al análisis de esta pregunta de investigación es importante señalar que las fases de modelado no son excluyentes, es decir, el hecho que una propuesta adopte una de las fases no implica que no pueda adoptar otra. Es más, el estándar MDA pregona la utilización de las tres fases señaladas, lo que, como podrá observarse más adelante, no se da con mucha frecuencia.

Procediendo al análisis de los datos obtenidos, presentados en el Cuadro VI, se puede notar que las fases más consideradas son la PIM y la PSM, con 23 y 24 ocurrencias respectivamente. Sin embargo, si analizamos en cuales artículos se consideran ambas fases, algo crucial para la aplicación de las transformaciones M2M según nuestras pretensiones, se puede observar que el número de ocurrencias desciende a 20 de 29, el 69 %.

En contrapartida, solo 6 propuestas de las 29 consideran la fase CIM. Una propuesta considera las fases CIM y PIM en conjunto y otra las fases CIM y PSM en conjunto, mientras que 5 propuestas, tan solo el 17 %, consideran las fases CIM, PIM y PSM, lo que demuestra la reducida cantidad de propuestas que se ajustan con rigurosidad al estándar MDA. Incluso, 2 de las propuestas analizadas no consideran ninguna de las etapas propuestas por MDA, algo bastante llamativo y completamente inesperado.

III-E. Pregunta 5

Al analizar la cantidad de herramientas de soporte a MDD disponibles, el panorama no es muy alentador, ya que, como bien puede observarse en el Cuadro VI, el 28 % de los artículos ni siquiera menciona el desarrollo de una herramienta que permita aplicar la propuesta planteada. El 14 % solo presenta una definición teórica de la herramienta e igual porcentaje solo una implementación parcial de la misma, con lo mínimo necesario para demostrar la solución propuesta. Aunque, y es importante recalcar, estas dos últimas categorías siempre señalan la finalización de la herramienta como trabajo futuro.

Con esto tenemos que el 56 % de las propuestas no cuenta con una herramienta que permita su aplicación. Y la situación es todavía peor si consideramos el 34 % que presume herramientas completamente funcionales pero sin embargo, no facilitan el acceso a las mismas.

Finalmente, tan solo el 3 de las 29 propuestas, apenas el 10 %, cuentan con herramientas de fácil acceso. Herramientas que pueden ser descargadas y utilizadas sin inconvenientes. De estas tres, una no cuenta con tutoriales ni guías ni algún otro tipo de soporte. Las otras dos, por otro lado, sí son herramientas que pueden ser utilizadas sin problemas para experimentar el verdadero poder de MDD, y cuentan con suficientes guías y recursos como para que cualquier persona las utilice.

III-F. Pregunta 6

Esta pregunta de investigación busca descubrir cuál es el IDE más utilizado en el mundo MDD para la definición de las herramientas que la soporten. Recordemos que la definición de potentes herramientas que soporten todo el proceso de desarrollo es uno de los pilares de MDD y un aspecto fundamental para su adopción por parte de la industria.

Observando los datos presentados en el Cuadro VI, podemos notar que la gran mayoría de las herramientas son desarrolladas a partir del IDE Eclipse. Concretamente, 15 de las 20 propuestas que detallan el IDE utilizado como base para el desarrollo de una herramienta, se basan en este popular entorno de desarrollo.

De las 5 propuestas restantes, 2 adoptaron el IDE llamado MagicDraw como base para el desarrollo de su herramienta y 3 adoptaron otros IDEs o no se basaron en ninguno pre-existente. Además, 9 propuestas quedaron sin poder ser clasificadas debido a la escasa información presentada en los artículos.

III-G. Pregunta 7

Al analizar los datos referentes al estado de automatización de las propuestas seleccionadas (datos presentados en el Cuadro VI) se puede apreciar que de las 29 propuestas tan solo 7 presumen una automatización completa, lo que equivale apenas al 27 % de las mismas.

El resto de los artículos se distribuyen de la siguiente manera. El 52 % de las propuestas analizadas, es decir, 15 de las 29, contemplan exclusivamente transformaciones M2M semi-automáticas, mientras que una sola propuesta contempla una combinación de transformaciones manuales y semi-automáticas, 2 una combinación de transformaciones semi-automáticas y automáticas, y 6 no pudieron ser clasificadas en ninguna de las categorías señaladas.

III-H. Pregunta 8

De acuerdo a la taxonomía propuesta en [38], las transformaciones pueden clasificarse de acuerdo al nivel de abstracción de los modelos origen y destino en verticales y horizontales. Se considera como vertical una transformación cuyos modelos origen y destino pertenecen al mismo nivel de abstracción. Y una transformación horizontal a aquella cuyos

modelos origen y destino pertenecen a diferentes niveles de abstracción.

Siguiendo esta clasificación se pudo identificar que 5 propuestas presentan transformaciones M2M horizontales mientras que 21 propuestas utilizan transformaciones M2M verticales. La combinación de ambas categorías no da el total de 29 propuestas debido a que algunas de ellas no abarcan transformaciones M2M.

El objetivo perseguido al plantearse esta pregunta de investigación fue simplemente conocer mejor el tipo de transformaciones que contemplan cada una de las propuestas analizadas. Sobre todo para conocer las tendencias actuales y el grado de adopción del estándar MDA, el cual propone sobre todo las transformaciones verticales.

III-I. Pregunta 9

Así también, en [38], se propone una clasificación de las transformaciones M2M de acuerdo al lenguaje en el que se expresan los modelos origen y destino. De esta manera, las transformaciones M2M cuyos modelos origen y destino son expresados en el mismo lenguaje se denominan endógenas, mientras que aquellas transformaciones M2M cuyos modelos origen y destino son expresados en lenguajes diferentes, se denominan exógenas.

Como es posible observar en el Cuadro VI, siguiendo esta clasificación encontramos que 20 propuestas plantean transformaciones endógenas, mientras que tan solo 3 proponen transformaciones exógenas, ninguna de las cuales es vertical.

En este caso la sumatoria de ambas clasificaciones tampoco da el total de propuestas analizadas, 29. Ya sea porque algunas propuestas no contemplan transformaciones M2M, o porque simplemente no fue posible deducir este dato con la información presentada en el artículo. Sin embargo, para facilitar la interpretación de los resultados se agregó a la tabla que los presenta una categoría especial que agrupa aquellos artículos que no pudieron ser clasificados.

III-J. Pregunta 10

Según [39] es posible clasificar las transformaciones M2M de acuerdo a la relación entre los modelos origen y destino. Básicamente las transformaciones pueden ser de dos tipos, dependiendo de cómo se obtengan los modelos destino. Una opción es que el modelo destino sea uno totalmente nuevo y la otra es que el modelo destino sea creado a partir de la modificación del modelo origen.

En el Cuadro VI se puede observar que 20 propuestas dan lugar a modelos destino totalmente nuevos, mientras que 3 obtienen los modelos destino mediante una combinación de ambas técnicas. Así también, al observar el mencionado cuadro se puede notar que 6 propuestas no pudieron ser clasificadas debido a la escasa información presentada en los artículos.

III-K. Pregunta 11

Otra posible clasificación para las transformaciones M2M, también definida por [38], permite organizarlas según el número de modelos origen y destino involucrados. En este caso

tenemos cuatro opciones de clasificación: 1 a 1, 1 a *, * a 1, * a *.

Observando los datos obtenidos, dispuestos en el Cuadro VI, podemos notar que la mayoría de las propuestas contemplan transformaciones en las que están involucrados varios modelos origen y varios modelos destino. La proporción es la siguiente: de 21 propuestas, 10 contemplan transformaciones * a *, 3 contemplan transformaciones * a 1, 4 contemplan transformaciones 1 a * y 4 contemplan transformaciones 1 a 1.

La razón por la que no fueron categorizadas las 29 propuestas analizadas es que, en muchos casos, no fue posible deducir el tipo de transformación planteada por cada una de las propuestas, partiendo únicamente de los datos proveídos por los artículos en los que fueron publicados.

III-L. Pregunta 12

Si centramos nuestro análisis en el lenguaje utilizado por cada una de las propuestas analizadas para definir las transformaciones M2M, podemos notar que los dos lenguajes predominantes son ATL y QVT, ambos adoptados por 12 propuestas, 11 de las cuales adoptan exclusivamente ATL o QVT mientras una de ellas adopta ambos lenguajes de transformación.

Tan solo 2 propuestas utilizan lenguajes diferentes a ATL y QVT para definir sus transformaciones (ver Cuadro VI). En ambos casos se utilizó un lenguaje de transformación llamado XSLT (XSL Transformation) que es un estándar de la organización W3C y se utiliza sobre todo para transformar documentos XML.

En este caso, al igual que al interpretar la pregunta anterior, fueron clasificadas tan solo 25 propuestas. Sin embargo, al igual que en casos anteriores, para facilitar la lectura de los datos se creó una categoría especial para agrupar aquellos artículos que, debido a la escasa información que proveen al respecto, no permitieron determinar el lenguaje de transformación utilizado. Aunque también se agrupan aquí aquellos artículos que no contemplan transformaciones M2M como por ejemplo los que fueron agregados como literatura gris.

IV. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS / DISCUSIÓN

Una vez realizada la síntesis cuantitativa se ha realizado la interpretación de la misma con el fin de explicar los resultados.

Sobre la pregunta de investigación 1, “¿Cuáles son los objetivos perseguidos en la investigación sobre MDD y las transformaciones M2M?”, los resultados muestran una clara tendencia de la comunidad científica a crear nuevas propuestas en lugar de mejorar o evaluar las propuestas ya existentes.

Si bien la gran diversidad en cuanto a propuestas denota la importancia de MDD para la comunidad científica, también conlleva aspectos negativos derivados de esta división del esfuerzo.

Los aspectos negativos son dos:

- En primer lugar, la existencia de muchas propuestas incompletas, propuestas que proponen ideas muy innovadoras, con gran proyección en cuanto a la utilidad que pudieran tener, pero que por falta de seguimiento por parte de la comunidad no son desarrolladas completamente,

y por ende, no llegan a la industria, perdiéndose muchas buenas ideas.

- En segundo lugar, el correspondiente retardo en el desarrollo del campo, ya que al estar tan dividida la comunidad científica se hacen complicadas hasta las decisiones más simples. Claros ejemplos de esto serán abordados más adelante al desarrollar otras preguntas de investigación.

Sobre la pregunta de investigación 2, “¿Qué tipo de métodos se utilizaron en la investigación relacionada con MDD y las transformaciones M2M?”, el hallazgo de que sólo el 48 % de los artículos respaldan sus afirmaciones con estudios empíricos es llamativo. La mayoría de los artículos emplean uno o más ejemplos para ilustrar el problema investigado y la solución propuesta, pero estos ejemplos no se pueden ver como evaluaciones de los aportes realizados.

Aunque es común que en los artículos de conferencias y talleres (que suelen tener restricciones de longitud) se presente el problema investigado y se proponga una solución para abordarlo, pero que la evaluación empírica se mencione como trabajo futuro, no tenemos forma de confirmar que este sea el motivo real de esta situación.

Lo concreto es que esta situación se da y, por lo tanto, la evaluación empírica de las propuestas sobre MDD para arquitecturas RIA es claramente una oportunidad de futura investigación.

Los resultados de la pregunta de investigación 3, “¿Cuál es la naturaleza de los resultados de investigación sobre MDD y las transformaciones M2M?”, no hacen más que afianzar lo señalado al interpretar la pregunta anterior.

El hecho que el 90 % de los artículos proponen nuevas metodologías denota que aún no se ha creado una metodología que satisfaga todas las necesidades de MDD. Así también, el elevado número de metodologías propuestas confirma esta brecha de investigación.

Por lo tanto, sería un gran aporte, por ejemplo, tomar alguna de las metodologías existentes, alguna que aún esté incompleta o que aún no haya sido validada adecuadamente, para luego completarla o dotarla de la herramienta que permita su aplicación y posterior validación.

Sobre la pregunta de investigación 4, “¿Cuáles de las fases de modelado son contempladas?”, los resultados indican que el 52 % de las propuestas consideran las fases PIM y PSM simultáneamente, mientras que tan solo el 17 % de ellas contemplan todas las fases señaladas por el estándar MDA, es decir, las fases CIM, PIM y PSM.

Si bien el porcentaje de adopción de las tres fases señaladas por el estándar MDA es muy bajo, el hecho de considerar simultáneamente las fases PIM y PSM es positivo, no al nivel de la aplicación simultánea de las fases CIM, PIM y PSM, pero positivo al fin. Aunque, de todas formas, no se alcanza un porcentaje de adopción que permita concluir una fuerte adopción del estándar.

Luego de un análisis pormenorizado de la situación, se llegó a la conclusión de que este particular resultado se debe a que algunas propuestas se encuentran en fases muy tempranas de su desarrollo y aún no lidian con el complejo problema de automatizar las transformaciones M2M. Algunas, por ejemplo,

proponen meta-modelos adaptados a RIA y plantean situaciones en las que las ideas plasmadas serían de utilidad pero no avanzan más allá. O incluso, con el fin de obtener resultados de manera rápida, optan por omitir las transformaciones M2M y presentar directamente transformaciones M2T.

Otro factor influyente en este resultado son los artículos incluidos mediante la búsqueda manual. Resulta que estos artículos no contemplan transformaciones M2M, sino solo transformaciones M2T o T2T. Se las incluyó, o bien por ser de las más extendidas actualmente, o bien por ser de las más completas y de las pocas en contar con herramientas comerciales.

Sobre la pregunta de investigación 5, “¿La propuesta fue implementada? ¿En qué medida?”, podemos comentar que con ella se pretende deducir el estado de desarrollo de cada una de las propuestas analizadas. La idea adoptada postula lo siguiente, cuanto mayor el desarrollo de la herramienta, mayor el desarrollo de la propuesta.

Es así que a partir de los datos obtenidos, podemos concluir que, en general, las propuestas MDD para RIA se encuentran en etapas muy tempranas de su desarrollo, salvo muy pocas excepciones, una o dos nada más.

Esta escasa disponibilidad de herramientas puede deberse a que la publicación se realizó en una etapa muy temprana dentro del desarrollo de la propuesta. Lo que es bastante factible ya que varias de las propuestas que sí cuentan con herramientas que permiten su utilización tuvieron un ciclo de vida similar, las primeras publicaciones no mencionan nada acerca de una herramienta, sin embargo esta es presentada en publicaciones posteriores.

Como varias de las propuestas ya llevan años de ser publicadas, creemos que la razón principal de la falta de herramientas es simplemente una falta de continuidad de la comunidad científica para con las diferentes propuestas, lo que abre una gran brecha que posibilita futuras investigaciones en pos de mejorar y completar las metodologías que aún no se encuentren completamente desarrolladas.

Sobre la pregunta de investigación 6, “¿Cuál es el IDE señalado para la utilización de la herramienta propuesta?”, podemos decir que casi la totalidad de las propuestas analizadas desarrollan herramientas creando plugins para Eclipse o modificándolo y redistribuyéndolo como si fuese un IDE diferente. Creemos que la principal razón de esto es la licencia de software de código abierto que adopta este IDE, lo que facilita considerablemente su modificación y adaptación. Aunque también es importante resaltar que Eclipse es el IDE que más fuertemente apuesta al enfoque MDD.

En segundo lugar, en cuanto a la cantidad de propuestas que lo adoptan, se encuentra el IDE MagicDraw, un IDE muy potente pero que, lastimosamente, solo cuenta con versiones de pago y además es cerrado.

Sin embargo, también existen propuestas que desarrollan herramientas completamente nuevas. Un resultado que llama mucho la atención, sobre todo al considerar la complejidad y el arduo trabajo que implica esta decisión.

Sobre la pregunta de investigación 7, “¿Cuál es el nivel de automatización de la transformación M2M contemplada?”.

Si bien tan solo el 24% de las propuestas presumen una automatización completa de las transformaciones M2M, este no es un resultado malo. De hecho, es un resultado perfectamente esperable ya que la automatización completa de las transformaciones en particular y del proceso de desarrollo completo en general, es una tarea sumamente compleja.

Probablemente la complejidad de automatizar la totalidad de las transformaciones M2M involucradas en un proceso MDD sea el motivo por el cual una gran cantidad de artículos señalan esta automatización como trabajo futuro, limitándose a automatizar aspectos puntuales con el objetivo de validar solo los aspectos más relevantes de la solución planteada.

Un resultado que sí llama mucha la atención es la existencia de una propuesta que contempla transformaciones manuales. Aunque, considerando que es posible demostrar los aportes de una propuesta mediante los ejemplos apropiados y realizando las transformaciones manualmente, es hasta razonable que alguna publicación, por limitaciones de tiempo o espacio, recurra a ellas para demostrar ciertos puntos.

Sobre la pregunta de investigación 8 “¿Pertenecen, los modelos origen y destino, al mismo nivel de abstracción?”. Conocer esto permite de alguna manera identificar el grado de adopción del estándar propuesto por el OMG, denominado, como ya se mencionó anteriormente, MDA.

Como MDA propone sobre todo transformaciones verticales, es decir, transformaciones que vayan disminuyendo progresivamente el nivel de abstracción de los modelos, el hecho que la mayoría de las propuestas adopte este tipo de transformación es un claro indicador que el estándar está siendo tenido en cuenta por la comunidad científica, al menos parcialmente.

Si además consideramos en el análisis los resultados arrojados por la pregunta de investigación 3, sobre las fases MDA adoptadas, entonces podemos concluir que efectivamente, el estándar MDA tiene un futuro prometedor dentro de MDD aunque su grado de adopción todavía no sea el adecuado.

Sobre la pregunta de investigación 9 “¿Cuál es el lenguaje en el que se expresan los modelos origen y destino?”, esta admite solo dos respuestas posibles, las transformaciones M2M pueden ser endógenas o exógenas. Y al analizar los datos obtenidos en este trabajo se nota una clara preferencia de la comunidad por las transformaciones M2M endógenas, es decir, aquellas en las que el modelo origen y destino están expresados en el mismo lenguaje.

Este resultado refuerza la hipótesis que presagia un futuro alentador para el estándar MDA ya que, si bien la adopción de este tipo de transformaciones no es mandatoria para la adopción de MDA, al analizar los resultados obtenidos, queda bastante claro que contribuye a ella, sobre todo porque las propuestas que utilizan transformaciones exógenas tienden a alejarse bastante de lo estipulado por este estándar.

Por ejemplo, las tres transformaciones que utilizan transformaciones M2M exógenas, también utilizan transformaciones M2M horizontales además de varios lenguajes de modelado que no son propuestas del OMG para MDA.

Sobre la pregunta de investigación 10, “¿Cuál es la relación entre los modelos origen y destino?”. En general, obtener

modelos destino totalmente nuevos es más sencillo que modificar el modelo origen para ajustarlo a lo estipulado por las transformaciones definidas y, efectivamente, según los datos obtenidos por el presente estudio, el tipo de transformaciones más frecuente es este.

A diferencia de las preguntas anteriores, esta no aporta mucho en pos de aproximar el grado de adopción de MDA, sin embargo, es un criterio importante a la hora analizar el tipo de transformaciones M2M más frecuentemente utilizado en el mundo MDD para RIA.

Entre otra cosas, esta pregunta permite sentar bases para futuros análisis sobre transformaciones M2M para RIA. Los datos obtenidos serán de gran utilidad para futuros trabajos que pretendan, por ejemplo, evaluar la evolución de estas transformaciones.

La pregunta de investigación 11, “¿Qué relación existe entre el número de modelos origen y destino?”, contempla un criterio de clasificación de transformaciones M2M que permite anticipar el grado de complejidad de las transformaciones necesarias para adoptar cada una de las propuestas.

Las transformaciones M2M que contemplan un solo modelo origen para la producción de un solo modelo destino, transformaciones “1 a 1”, son más sencillas de definir y comprender, por lo que cabría esperar que la adopción de las mismas se ciña a una curva de aprendizaje más baja.

Sin embargo, este criterio solo aplica a la complejidad de las transformaciones en sí, ya que por ejemplo, es muy posible que las propuestas que contemplen transformaciones “1 a 1”, logren la mencionada sencillez en base a modelos con una menor separación de conceptos, es decir, definiendo menos y más complejos modelos, trasladando la complejidad de las transformaciones a los modelos, lo que impacta negativamente en la mantenibilidad y comprensibilidad de los diseños.

En base a lo definido previamente y a la luz de los resultados obtenidos, podemos concluir que, en general, la comunidad científica tiende a disminuir la complejidad de los modelos en lugar de la complejidad de las transformaciones ya que la mayoría de las propuestas utilizan transformaciones “* a 1” o “* a*”. Lo que es más que razonable si consideramos que una importante motivación de MDD es mejorar la documentación de los sistemas.

Finalmente, sobre la pregunta de investigación 12, “¿Qué lenguaje de transformación M2M utiliza la propuesta analizada?”, la misma fue planteada con el objetivo de identificar cuál es el lenguaje más utilizado actualmente para definir las transformaciones M2M.

Los resultados obtenidos ponen en muy buena posición al lenguaje QVT, propuesto por el OMG y estándar oficial para la definición de las transformaciones M2M. Básica mente, el 46% de las propuestas utilizan QVT y 46% utilizan ATL, tomando como referencia aquellas propuestas que indican cuál es el lenguaje de transformación M2M utilizado, es decir, 25 de las 29 propuestas analizadas. Esto, por una parte, demuestra el gran acogimiento de ATL como lenguaje de transformación M2M y avala a numerosos autores que consideran a ATL como el estándar de facto para la definición de transformaciones

M2M, y por otra parte, también demuestra el gran esfuerzo de la comunidad científica por incentivar la utilización de QVT.

V. CONCLUSIÓN

Un SMS ha sido llevado a cabo en este artículo con el fin de reunir, clasificar y analizar todas las investigaciones sobre enfoques MDD para arquitecturas RIA realizadas entre el 2002, año de aparición del término RIA [11], y el 2015 (ambos inclusive) en la comunidad científica, con los objetivos de: i) proporcionar una consolidada visión general del campo de investigación; ii) identificar temas bien establecidos, tendencias, temas de investigación abiertos, y oportunidades de investigación que puedan o requieran ser abordados en el futuro.

Nuestro estudio revela varios datos interesantes:

- La mayor parte del esfuerzo de investigación de la comunidad científica se centra en crear o proponer nuevas propuestas en lugar de estudiar mejor aquellas pre-existentes.
- Tan solo el 48% de los artículos respaldan sus afirmaciones con estudios empíricos.
- Si bien la mayoría de las propuestas presentan tanto métodos como herramientas, estas herramientas no son de fácil acceso o solo se mencionan como trabajo futuro.
- La mayoría de las propuestas adoptan las fases PIM y/o PSM, mientras que ninguna propone nuevas fases a las ya definidas por el estándar MDA.
- Si bien muchas de las propuestas estudiadas proponen herramientas, pocas las desarrollan y publican.
- El IDE más utilizado para el desarrollo de herramientas que soporten a los métodos propuestos, es Eclipse, ya sea creando nuevos IDEs a partir de este, como creando plugins para el Eclipse Modeling Framework (EMF).
- Son pocas las herramientas que automatizan completamente el proceso de desarrollo, son más comunes los procesos semi-automáticos.
- Según la taxonomía propuesta en [38], el tipo de transformaciones M2M más frecuente es la transformación M2M vertical.
- Según la taxonomía propuesta en [38], el tipo de transformaciones M2M más frecuente es la transformación M2M endógena.
- Según la taxonomía propuesta en [39], el tipo de transformaciones M2M más frecuente es aquella cuyos modelos destino son creados desde cero y no a partir de la modificación de los modelos origen.
- Según la taxonomía propuesta en [38], el tipo de transformaciones M2M más frecuente es la transformación de muchos a muchos.
- En cuanto al lenguaje de transformación M2M, la misma cantidad de propuestas adoptan ATL y QVT.

Aparte del análisis cuantitativo proporcionado por nuestro mapeo sistemático, un análisis cualitativo se llevó a cabo con el fin de expresar algunas conclusiones derivadas de la interpretación de los datos obtenidos.

En primer lugar es importante resaltar que ninguna de las propuestas analizadas proponen nuevas fases a las ya definidas

por el estándar MDA. Además, ninguna de estas propuestas contempla la fase ASM introducida por MoWebA [40] [4] [3].

En general, las propuestas que extienden enfoques MDD pre-existentes para que soporten arquitecturas RIA, lo hacen extendiendo el PIM. Por lo tanto, corriendo el riesgo de afectar negativamente la portabilidad de estos modelos, cuya portabilidad es uno de los pilares de MDD.

Debido fundamentalmente a que la comunidad científica todavía centra sus esfuerzos en definir nuevas propuestas MDD para RIA, el número de herramientas desarrolladas y distribuidas es aún muy bajo. En este punto es importante recordar que otro de los pilares de MDD es la creación de potentes herramientas que permitan la automatización del proceso de desarrollo.

Fueron detectadas varias oportunidades de investigación. Entre ellas merecen una mención especial dos que consideramos particularmente importantes para MDD. Estas son, la falta de trabajos empíricos, sobre todo experimentos, que permitan validar aquellas propuestas que aún no fueron validadas con este nivel de rigurosidad. Contribuir con el desarrollo de herramientas que soporten cada una de las propuestas existentes, lo que aporta a la comunidad en dos formas, facilitando la realización de trabajos empíricos y fomentando la adopción de MDD por parte de la industria.

REFERENCIAS

- [1] C. Pons, R. Giardini, and G. Pérez, *Desarrollo de Software dirigido por Modelos (Conceptos teóricos y su aplicación práctica)*. Edulp - Editorial de la Universidad de la Plata, 2010.
- [2] F. O. García Rubio, J. M. Vara Mesa, and C. V. Chicote, *Desarrollo de Software Dirigido por Modelos: Conceptos, Métodos y Herramientas*. Ra-Ma, 2013.
- [3] M. González, N. Aquino, L. Cernuzzi, and O. Pastor, "Developing Web Applications for different architectures: The MoWebA Approach," *IEEE 10th International Conference on Research Challenges in Information Science (RCIS)*, Jun. 2016, (in press).
- [4] M. González, L. Cernuzzi, and O. Pastor, "A navigational role-centric model oriented web approach - moweba," *Int. J. Web Eng. Technol.*, vol. 11, no. 1, pp. 29–67, 2016. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1504/IJWET.2016.075963>
- [5] A. Bozzon, S. Comai, P. Fraternali, and G. T. Carughi, "Conceptual modeling and code generation for rich internet applications," in *ICWE 2006. Proceedings of the 6th international conference on Web engineering*. ACM, 2006, pp. 353–360.
- [6] N. Koch, M. Pigerl, G. Zhang, and T. Morozova, *Web Engineering: 9th International Conference, ICWE 2009 San Sebastián, Spain, June 24-26, 2009 Proceedings*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009, ch. Patterns for the Model-Based Development of RIAs, pp. 283–291. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-02818-2_23
- [7] S. Meliá, J. Gómez, S. Pérez, and O. Díaz, "A model-driven development for gwt-based rich internet applications with ooh4ria," in *Web Engineering, 2008. ICWE '08. Eighth International Conference on*. IEEE, July 2008, pp. 13–23.
- [8] M. Genero Bocco, J. Cruz-Lemos, and M. Piattini Velthuis, *Métodos de investigación en ingeniería del software*. Ra-Ma, 2014.
- [9] S. Casteleyn, I. Garrigós, and J.-N. Mazón, "Ten years of rich internet applications: A systematic mapping study, and beyond." *ACM Transactions on the Web (TWEB)*, vol. 8, no. 3, pp. 18:1–18:46, 2014.
- [10] G. Aragón, M.-J. Escalona, M. Lang, and J. R. Hílera, "An analysis of model-driven web engineering methodologies," *International Journal of Innovative Computing, Information and Control (IJICIC)*, vol. 9, no. 1, pp. 413–436, 2013.
- [11] J. Allaire, "Macromedia Flash MX-A next-generation rich client," *Macromedia White Paper*, pp. 1–2, 2002.

- [12] S. Link, T. Schuster, P. Hoyer, and S. Abeck, "Focusing graphical user interfaces in model-driven software development," in *Advances in Computer-Human Interaction, 2008 First International Conference on*. IEEE, Feb 2008, pp. 3–8.
- [13] M. L. Bernardi, G. A. D. Lucca, and D. Distanto, "Model-driven fast prototyping of rias: From conceptual models to running applications," in *Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), 2014 International Conference on*. IEEE, Sept 2014, pp. 250–258.
- [14] S. Pérez, O. Díaz, S. Meliá, and J. Gómez, "Facing interaction-rich rias: The orchestration model," in *Web Engineering, 2008. ICWE '08. Eighth International Conference on*. IEEE, July 2008, pp. 24–37.
- [15] J. C. Preciado, M. Linaje, R. Morales-Chaparro, F. Sanchez-Figueroa, G. Zhang, C. Kroiß, and N. Koch, "Designing rich internet applications combining uwe and rux-method," in *Web Engineering, 2008. ICWE '08. Eighth International Conference on*. IEEE, July 2008, pp. 148–154.
- [16] S. Meliá, J. Gómez, S. Pérez, and O. Díaz, "Facing architectural and technological variability of rich internet applications," *IEEE Internet Computing*, vol. PP, no. 99, pp. 1–1, 2010.
- [17] E. Sosa, P. J. Clemente, J. M. Conejero, and R. Rodríguez-Echeverría, "A model-driven process to modernize legacy web applications based on service oriented architectures," in *Web Systems Evolution (WSE), 2013 15th IEEE International Symposium on*. IEEE, Sept 2013, pp. 61–70.
- [18] V. Torres, P. Giner, and V. Pelechano, "Developing bp-driven web applications through the use of mde techniques," *Software & Systems Modeling*, vol. 11, no. 4, pp. 609–631, 2010. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1007/s10270-010-0177-5>
- [19] E. Robles Luna, M. J. Escalona, and G. Rossi, *Software and Data Technologies: 5th International Conference, ICSoft 2010, Athens, Greece, July 22-24, 2010. Revised Selected Papers*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, ch. Modelling the Requirements of Rich Internet Applications in WebRe, pp. 27–41. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-29578-2_2
- [20] Ó. Pastor, M. Ruiz, and S. España, *Software and Data Technologies: 6th International Conference, ICSoft 2011, Seville, Spain, July 18-21, 2011. Revised Selected Papers*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, ch. From Requirements to Code: A Full Model-Driven Development Perspective, pp. 56–70. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-36177-7_4
- [21] J. M. Hermida, S. Meliá, J.-J. Martínez, A. Montoyo, and J. Gómez, *Current Trends in Web Engineering: ICWE 2012 International Workshops: MDWE, ComposableWeb, WeRE, QWE, and Doctoral Consortium, Berlin, Germany, July 23-27, 2012, Revised Selected Papers*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, ch. Developing Semantic Rich Internet Applications with the Sm4RIA Extension for OIDE, pp. 20–25. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-35623-0_3
- [22] R. Rodríguez-Echeverría, J. M. Conejero, M. Linaje, J. C. Preciado, and F. Sánchez-Figueroa, *Web Engineering: 10th International Conference, ICWE 2010, Vienna Austria, July 5-9, 2010. Proceedings*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010, ch. Re-engineering Legacy Web Applications into Rich Internet Applications, pp. 189–203. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-13911-6_13
- [23] S. Meliá, J.-J. Martínez, S. Mira, J. A. Osuna, and J. Gómez, *Web Engineering: 10th International Conference, ICWE 2010, Vienna Austria, July 5-9, 2010. Proceedings*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010, ch. An Eclipse Plug-in for Model-Driven Development of Rich Internet Applications, pp. 514–517. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-13911-6_41
- [24] J. M. Hermida, S. Meliá, A. Montoyo, and J. Gómez, *Web Information Systems Engineering – WISE 2010 Workshops: WISE 2010 International Symposium WISS, and International Workshops CISE, MBC, Hong Kong, China, December 12-14, 2010, Revised Selected Papers*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011, ch. Developing Semantic Rich Internet Applications Using a Model-Driven Approach, pp. 198–211. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-24396-7_16
- [25] R. Rodríguez-Echeverría, J. M. Conejero, P. J. Clemente, V. M. Pavón, and F. Sánchez-Figueroa, *Current Trends in Web Engineering: ICWE 2012 International Workshops: MDWE, ComposableWeb, WeRE, QWE, and Doctoral Consortium, Berlin, Germany, July 23-27, 2012, Revised Selected Papers*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, ch. Model Driven Extraction of the Navigational Concern of Legacy Web Applications, pp. 56–70. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-35623-0_6
- [26] H. Casalánguida and J. E. Durán, *Current Trends in Web Engineering: ICWE 2013 International Workshops ComposableWeb, QWE, MDWE, DMSSW, EMotions, CSE, SSN, and PhD Symposium, Aalborg, Denmark, July 8-12, 2013. Revised Selected Papers*. Cham: Springer International Publishing, 2013, ch. A Method for Integrating Process Description and User Interface Use during Design of RIA Applications, pp. 172–186. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-04244-2_16
- [27] R. Rodríguez-Echeverría, V. M. Pavón, F. Macías, J. M. Conejero, P. J. Clemente, and F. Sánchez-Figueroa, *Web Information Systems Engineering – WISE 2013: 14th International Conference, Nanjing, China, October 13-15, 2013, Proceedings, Part II*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, ch. Generating a Conceptual Representation of a Legacy Web Application, pp. 231–240. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-41154-0_17
- [28] R. Rodríguez-Echeverría, J. M. Conejero, P. J. Clemente, M. D. Villalobos, and F. Sánchez-Figueroa, *Web Engineering: 12th International Conference, ICWE 2012, Berlin, Germany, July 23-27, 2012. Proceedings*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, ch. Extracting Navigational Models from Struts-Based Web Applications, pp. 419–426. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-31753-8_35
- [29] A. Pleuß and H. Hußmann, *Human-Computer Interaction. Interaction Design and Usability: 12th International Conference, HCI International 2007, Beijing, China, July 22-27, 2007, Proceedings, Part I*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007, ch. Integrating Authoring Tools into Model-Driven Development of Interactive Multimedia Applications, pp. 1168–1177. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-73105-4_127
- [30] I. Garrigós, S. Meliá, and S. Casteleyn, *Web Information Systems Engineering - WISE 2009: 10th International Conference, Poznań, Poland, October 5-7, 2009. Proceedings*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009, ch. Personalizing the Interface in Rich Internet Applications, pp. 365–378. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-04409-0_37
- [31] L. Dannecker, M. Feldmann, T. Nestler, G. Hübsch, U. Jugel, and K. Muthmann, *Current Trends in Web Engineering: 10th International Conference on Web Engineering ICWE 2010 Workshops, Vienna, Austria, July 2010, Revised Selected Papers*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010, ch. Rapid Development of Composite Applications Using Annotated Web Services, pp. 1–12. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-16985-4_1
- [32] S. Pérez, F. Duroa, S. Meliá, P. Dolog, and O. Díaz, *Web Information Systems Engineering – WISE 2010 Workshops: WISE 2010 International Symposium WISS, and International Workshops CISE, MBC, Hong Kong, China, December 12-14, 2010, Revised Selected Papers*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011, ch. RESTful, Resource-Oriented Architectures: A Model-Driven Approach, pp. 282–294. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-24396-7_22
- [33] J. M. Hermida, S. Meliá, A. Montoyo, and J. Gómez, "Applying model-driven engineering to the development of rich internet applications for business intelligence," *Information Systems Frontiers*, vol. 15, no. 3, pp. 411–431, 2013. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1007/s10796-012-9402-9>
- [34] L. Mainetti, R. Paiano, and A. Pandurino, *Web Engineering: 12th International Conference, ICWE 2012, Berlin, Germany, July 23-27, 2012. Proceedings*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, ch. MIGROS: A Model-Driven Transformation Approach of the User Experience of Legacy Applications, pp. 490–493. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-31753-8_51
- [35] F. Valverde and O. Pastor, *Web Information Systems Engineering - WISE 2009: 10th International Conference, Poznań, Poland, October 5-7, 2009. Proceedings*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009, ch. Facing the Technological Challenges of Web 2.0: A RIA Model-Driven Engineering Approach, pp. 131–144. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-04409-0_18
- [36] M. Urbieta, M. Urbieta, G. Rossi, G. Rossi, J. Ginzburg, J. Ginzburg, D. Schwabe, and D. Schwabe, "Designing the interface of rich internet applications," in *Web Conference, 2007. LA-WEB 2007. Latin American*. IEEE, Oct 2007, pp. 144–153.
- [37] J. C. Preciado, M. Linaje, S. Comai, and F. Sanchez-Figueroa, "Designing rich internet applications with web engineering methodologies," in *Web Site Evolution, 2007. WSE 2007. 9th IEEE International Workshop on*. IEEE, Oct 2007, pp. 23–30.
- [38] T. Mens and P. Van Gorp, "A Taxonomy of Model Transformation," *El Seiver*, 2005.
- [39] K. Czarnecki and S. Helsen, "Classification of Model Transformation Approaches," *OOPSLA*, 2003.
- [40] M. González, L. Cernuzzi, and O. Pastor, "Una aproximación para aplicaciones web: MOWEBA," *Congreso Iberoamericano en "Software Engineering" (CibSE)*, 2011.