

Titulo del Trabajo:

Revisión de la literatura: Eficacia Cognitiva de los lenguajes de modelado visual en las aplicaciones web RIA bajo el paradigma de la ingeniería dirigida por modelos

Autor:

Camilo Andres Figueroa Barrantes.

Titulo otorgado:

Especialista en Ingeniería del Software.

Asesor:

Jesús Andrés hincapié Londoño

Programa:

Especialización en Ingeniería del Software.

Facultad:

Facultad de Ingeniería.

Ciudad:

Medellín.

Año:

2014

Revisión de la literatura: Eficacia Cognitiva de los lenguajes de modelado visual en las aplicaciones web RIA bajo el paradigma de la ingeniería dirigida por modelos

Camilo Andres Figueroa Barrantes¹

¹Universidad de Medellín, camiloandresfigueroabarrantes@gmail.com

Resumen

Los lenguajes de modelado buscan de manera visual o textual representar un dominio específico y en ello la eficacia cognitiva de un lenguaje de modelado visual busca aportar precisión, facilidad y velocidad al procesamiento mental del lenguaje, y de esta manera contribuir a la capacidad de descripción y representación de los elementos y características de un sistema, problema o dominio. La existencia de problemas de eficacia cognitiva puede afectar la facilidad, precisión y velocidad de entendimiento y uso de modelos, incluyendo modelos bajo el contexto del paradigma del desarrollo dirigido por modelos. Este artículo pretende hacer una revisión de la literatura sobre algunos lenguajes de modelado visual en aplicaciones web RIA (Rich Internet Applications) basadas en el paradigma del Desarrollo Dirigido por Modelos (MDD), evaluando las soluciones existentes desde sus capacidades y limitaciones en el contexto de la eficacia cognitiva.

Palabras clave: lenguaje visual, lenguajes de modelado, eficacia cognitiva, ingeniería dirigida por modelos, arquitectura dirigida por modelos, desarrollo dirigido por modelos, lenguajes de modelado visual, lenguajes de modelado de dominio específico, desarrollo dirigida por modelos para aplicaciones web, aplicaciones web RIA, Rich Internet Applications.

1. Introducción

Los Lenguajes visuales forman una parte integral de la Ingeniería de Software (Moody, 2009), y en ello los lenguajes de modelado visual son los instrumentos fundamentales en la modelización conceptual y son ampliamente utilizados en una extensa gama de proyectos de

software, así como también en la gestión de procesos, gestión de la calidad o de los proyectos de gestión de cumplimiento (Schalles, 2013).

Sin embargo, históricamente, los investigadores en IS y los diseñadores de notaciones han ignorado o infravalorado los temas de la representación visual. En la evaluación y comparación de las notaciones, rara vez se discuten los detalles de la sintaxis visual. En el diseño de anotaciones, la mayor parte del esfuerzo se invierte en la semántica, y las convenciones gráficas son en gran medida ideas de último momento. Normalmente no hay razones de diseño, científicas o de otro tipo para las elecciones de representación visual. Mientras la IS ha desarrollado métodos maduros para la evaluación y el diseño de la semántica, se carece de un método equivalente para la sintaxis visual (Moody, 2009).

En ese sentido las falencias y defectos de sintaxis visual de los lenguajes de modelado visual en la IS, incluido el desarrollo dirigido por modelos (MDD), afectan la capacidad para usar con eficacia el lenguaje necesario para representar el dominio. En el contexto de un lenguaje de modelado y dentro de las características deseables de los lenguajes de modelado, el utilizar modelos visuales representa gran utilidad para contextos donde especificar visualmente el modelado y sus características necesita, para un efectivo uso, de la facilidad de entendimiento, la precisión y la velocidad en el entendimiento de lo representado.

A pesar del descuido de los temas de representación visual de los lenguajes de modelado, en el proceso de revisión de la literatura se ha encontrado que la eficacia cognitiva, entendida como “la velocidad, facilidad y precisión con la que una representación puede ser procesada por la mente humana” (Moody, 2009) ha recibido una especial atención, encontrando que se han realizado evaluaciones de eficacia cognitiva a algunos lenguajes de modelado (lenguajes utilizados dentro del paradigma de la ingeniería dirigida por modelos: WebML, I* framework, BPMN, UCM, UML), esto debido al parecer porque la eficacia cognitiva provee una definición operativa de la “bondad” de la notación visual (para comunicar información a los stakeholders y para el apoyo del proceso de modelado) que puede ser evaluada empíricamente (Moody, 2009) desde los criterios establecidos en “Physics” of Notations: Towards a Scientific Basis for Constructing Visual Notations in Software Engineering” (Granada et al, 2013).

A continuación se presenta una descripción de los lenguajes a evaluar y se citan ejemplos de la relación encontrada de estos lenguajes dentro del paradigma MDE.

WebML: El Lenguaje WebML (Web Modeling Language) es una notación para especificar sitios web complejos a nivel conceptual. Su uso dentro del paradigma MDE se describe en el artículo Web Modeling Language (WebML): a modeling language for designing Web sites (Ceri, S., Fraternali, P., & Bongio, A., 2000).

I*: i* framework es una técnica de ingeniería de requisitos orientada a objetivos (GORE). Su uso dentro del paradigma MDE se ejemplifica en la herramienta dirigida por modelos WebREd-Tool, que es un conjunto de plugins para Eclipse para ayudar en las primeras fases de un proceso de desarrollo de aplicaciones Web, y hace uso de I* framework en el análisis y especificación de los requisitos de las aplicaciones Web (Calderon, J. A. A., Garrigós, I., Casteleyn, S., & Mazón, J. N., 2012).

UCM: La notación Mapa de Caso de Uso (Use Case map UCM) es un lenguaje de modelado de escenarios, y está destinada a la toma de requerimientos, análisis, especificación y validación de requisitos (Genon, N., Amyot, D., & Heymans, P., 2011). Su uso dentro del paradigma de MDE se ejemplifica en el artículo UCM-Driven Testing of Web Applications (Amyot, D., Roy, J. F., & Weiss, M., 2005) donde se describen experiencias derivadas de las pruebas de aceptación orientadas al cliente para aplicaciones web mediante el modelado de las funciones esenciales de la aplicación como Mapas de casos de uso (UCM). El artículo se circunscribe dentro del volumen SDL 2005: Model Driven (Reed, A. P. R., & Reed, J., 2005).

BPMN: BPMN 2.0 (estándar OMG) es uno de los principales lenguajes de modelado de procesos. Su objetivo es proporcionar una notación fácilmente comprensible por todos los usuarios de negocios (Genon, N., Heymans, P., & Amyot, D., 2011). El uso de BPMN dentro del paradigma MDE se ejemplifica en el artículo Large-Scale Model-Driven Engineering of Web User Interaction: the WebML and WebRatio Experience (Brambilla, M., & Fraternali, P., 2013) en él se describe como los prototipos de los procesos de negocio se generan directamente del esquema BPMN de un proceso de negocio, e incorporan el control lógico del proceso.

UML: UML es el lenguaje de modelado estándar de facto que se utiliza ampliamente en el área de desarrollo basado en modelos para expresar el modelo del sistema (Khalil, A., & Dingel, J., 2013). Es posible evidenciar un ejemplo del uso de UML dentro del paradigma MDE en el artículo A model-driven approach to develop high performance web applications. Journal of Systems and Software (Herrero, J. L., & Carmona, P., 2013), donde se describe como generar aplicaciones web a partir de un diseño UML.

La discusión y conclusiones sobre la eficacia cognitiva de los lenguajes revisados (ver tabla de artículos seleccionados) se apoya en los criterios de Eficacia Cognitiva establecidos en el documento: The “Physics” of Notations: Towards a Scientific Basis for Constructing Visual Notations in Software Engineering” (Moody, 2009). Estos criterios de evaluación se indican en el apartado de Criterios de Evaluación, y corresponden al punto de apoyo para la discusión sobre las bondades o deficiencias de la eficacia cognitiva de dichos lenguajes de modelado vinculados al paradigma de la ingeniería dirigida por modelos.

Es importante indicar que la orientación del artículo hacia las aplicaciones web RIA se establece para enfocar el estudio hacia la tendencia de trascender el modelo cliente servidor de páginas refrescadas ante cada acción del usuario. RIA implementa conexiones asincrónicas para actualizar la información sin interferir con el estado y comportamientos de la página actual. Adicionalmente las aplicaciones RIA integran soporte a sofisticadas tecnologías que permiten mayor y mejor integración con contenidos y servicios interactivos.

La estructura de este artículo es la siguiente. En la sección 2, se presenta el método estructurado en las preguntas de investigación, los criterios de inclusión y exclusión así como la tabla de los artículos seleccionados para la evaluación. En la sección 3, se exponen los criterios de evaluación, y se presenta la tabla de resultados de la evaluación realizada. En la sección 4 se presenta la discusión sobre la evaluación realizada. La sección 5 presenta las conclusiones derivadas de la revisión de la literatura y el proceso de evaluación.

2. Método

2.1 Preguntas de investigación

¿Cuáles son los lenguajes visuales de modelado usados para el modelado visual dirigido por modelos en aplicaciones web (RIA)?, ¿Existen métricas o patrones de evaluación de la experiencia de usuario o usabilidad de los lenguajes visuales de modelado? y si existen ¿Cuáles son?

2.2 Criterios de inclusión:

El criterio de inclusión de los artículos está basado en el análisis del título, resumen, introducción y palabras claves en inglés y/o español de los artículos obtenidos en la búsqueda para determinar si la propuesta presentada está relacionada con los siguientes criterios:

Lenguajes de modelado visuales vinculados con el desarrollo/arquitectura/ingeniería dirigido por modelos, siendo deseable que contengan evaluaciones de usabilidad, experiencia de usuario o eficacia cognitiva (artículos publicados después del año 2000).

Lenguajes de modelado visuales o gráficos vinculados con el desarrollo, la arquitectura o la ingeniería dirigido por modelos en ambientes web RIA (Rich Internet Application) o para aplicaciones web (Web Application), siendo deseable que contengan evaluaciones de usabilidad, experiencia de usuario o eficacia cognitiva (artículos publicados después del año 2005). También se analiza cómo se tratan las palabras clave en el contenido total de cada artículo para decidir si es seleccionado en el contexto de la revisión de la literatura como estudio relevante.

2.3 Criterios de exclusión:

Artículos (publicado antes del año 2000) relacionados con los lenguajes de modelado no visuales o no gráficos vinculados al desarrollo/arquitectura/ingeniería dirigido por modelos.

Artículos (publicados antes del año 2005) relacionados con los lenguajes de modelado no visuales o no gráficos vinculados al desarrollo/arquitectura/ingeniería dirigido por modelos en ambientes web RIA o para aplicaciones web (web applications).

Artículos (publicado antes del año 2000) relacionados con la efectividad cognitiva.

2.4 Tabla de artículos seleccionados

ID	Título	Autores y Fecha	Lenguaje de modelado	Fuente
1	Analysing the Cognitive Effectiveness of the WebML Visual Notation.	Granada, D., Vara, J. M., Brambilla, M., Bollati, V., & Marcos, E. (2013)	WebML	kybele.etsii.urjc.es
2	Improving the Effectiveness of Visual Representations in Requirements Engineering: An Evaluation of i* Visual Syntax	Moody, D. L., Heymans, P., & Matulevicius, R. (2009)	i* (i* Framework modeling language)	ieeexplore.ieee.org
3	Analysing the cognitive effectiveness of the BPMN 2.0 visual notation. In Software Language Engineering	Genon, N., Heymans, P., & Amyot, D. (2011)	BPMN 2.0 (Business Process Modeling Notation)	Springer
4	Analysing the cognitive effectiveness of the UCM visual notation	Genon, N., Amyot, D., & Heymans, P. (2011)	UCM (the Use Case Map notation)	Springer
5	Evaluating the visual syntax of UML: An analysis of the cognitive effectiveness of the UML family of diagrams.	Moody, Daniel, and Jos van Hilleegersberg. (2009)	UML (Unified Modeling Language)	Springer

3 Evaluación de los artículos seleccionados

3.1 Criterios de evaluación

Se ha encontrado que la eficacia cognitiva, entendida como “la velocidad, facilidad y exactitud con la que una representación puede ser procesada por la mente humana” (Moody, 2009) ha recibido una especial atención dentro de la evaluación de los lenguajes de modelado, ya que provee una definición operativa de la capacidad de la notación visual para comunicar información a los stakeholders y para el apoyo del proceso de modelado, que puede ser evaluada empíricamente. Los siguientes son los criterios de evaluación de la eficacia cognitiva (Moody, 2009):

Principio de claridad semiótica: Debe haber una relación uno a uno entre los elementos del lenguaje y los símbolos gráficos. Se pueden presentar las siguientes anomalías: (i)

Redundancia: Múltiples símbolos gráficos se pueden utilizar para representar la misma construcción semántica, (ii) *Sobrecarga*: Dos construcciones semánticas diferentes pueden ser representados por el mismo símbolo, (iii) *Exceso*: Los símbolos no se corresponden con ninguna construcción semántica, y (iv) *Déficit*: Hay construcciones semánticas no representadas por ningún símbolo (en la mayoría de los casos en la IS esto es deseable para limitar la complejidad gramática (gestión de la complejidad) y gráfica (economía gráfica)).

Principio de discriminabilidad perceptual: Es la facilidad y la precisión con la que los símbolos gráficos pueden ser diferenciados unos de otros. Esto se refiere a la primera fase de procesamiento de la información visual humana: la discriminación perceptual. Este principio está determinado por la distancia visual entre los símbolos, medida por el número de variables visuales en que estos símbolos difieren y en el tamaño de la diferencia. A mayor distancia visual entre símbolos, mayor velocidad y precisión al percibir los símbolos.

Principio de transparencia semántica: Se define como la medida en que el significado de un símbolo se puede deducir de su apariencia. Las representaciones semánticamente transparentes reducen la carga cognitiva, debido a su facilidad de memorización: Su significado puede ser percibido directamente o fácilmente aprendido. Un símbolo es semánticamente inmediato si un lector novato puede deducir su significado a partir de su mera apariencia. Un símbolo es semánticamente opaco si existe una relación puramente arbitraria entre su apariencia y su significado. Un símbolo es semánticamente perverso, si un lector novato puede inferir un significado diferente (o contrario) a su apariencia

Principio de gestión de la complejidad: Se refiere a la capacidad de una notación visual para representar la información sin sobrecargar la mente humana. En este contexto, "complejidad" se refiere a la complejidad esquemática, medida por el número de elementos (instancias de símbolos) en un diagrama. La gestión de la complejidad está limitada por las capacidades perceptivas (la capacidad de discriminar entre los elementos del diagrama aumenta con el tamaño del diagrama) y cognitivas del ser humano (el número de elementos del diagrama que pueden ser comprendidos a la vez está limitado por la capacidad de memoria de trabajo). Para representar efectivamente a situaciones complejas, las notaciones visuales deben proporcionar mecanismos para la modularización y estructuración jerárquica.

Principio de la integración cognitiva: Se aplica cuando se utilizan varios diagramas para representar un sistema. Este es un tema crítico en la IS, donde los problemas suelen estar

representados mediante sistemas de diagramas en lugar de diagramas individuales. Esto produce en el lector demandas cognitivas adicionales. Se deben incluir mecanismos explícitos para apoyar la Integración conceptual y perceptual, como mecanismos para ayudar al lector a ensamblar información de diagramas separados en una representación mental coherente del sistema (Integración conceptual) y señales perceptivas para simplificar la navegación y las transiciones entre diagramas (Integración perceptual).

Principio de la expresividad visual: Se define como el número de variables visuales utilizadas en una notación. Mide la variación visual en todo el vocabulario visual. Utilizando variables visuales se genera una representación perceptual que enriquece la comunicación visual y maximiza la descarga computacional mental (computational offloading).

Principio de codificación doble: El uso de texto y gráficos en conjunto para transmitir información es más eficaz que el uso por sí solos de textos o gráficos. Cuando la información se presenta de forma verbal y visual, las representaciones de la información están codificadas en sistemas separados en la memoria de trabajo y las conexiones referenciales entre ambos se fortalecen. Esto sugiere que la codificación textual es más eficaz cuando se utiliza en un papel de apoyo: para complementar en lugar de sustituir a gráficos.

Principio de Economía gráfica: La complejidad gráfica se define por el número de símbolos gráficos en una notación, esto es el tamaño de su vocabulario visual. El número de diferentes símbolos gráficos debe ser cognitivamente manejable. La complejidad gráfica afecta a novatos mucho más que a los expertos, ya que necesitan mantener conscientemente en la memoria de trabajo los significados de los símbolos. Si los símbolos no son fáciles de memorizar, el usuario debe recordar lo que significan o bien una leyenda debe ser suministrada y frecuentemente referenciada, y todo esto se suma al esfuerzo de procesar los diagramas. Hay tres estrategias principales para hacer frente a la complejidad gráfica excesiva: (i) Reducir la complejidad semántica, (ii) introducir déficit simbólico (elegir no mostrar algunas construcciones gráficamente) y (iii) aumentar la expresividad visual

Principio de Ajuste Cognitivo: Utilizar diferentes dialectos visuales para diferentes tareas y audiencias cuando sea necesario. Estos representan complementariedad entre dialectos visuales. Hay al menos dos razones para la creación de múltiples dialectos visuales: (i) La necesidad de hacer que las representaciones sean comprensibles por la audiencia experto-novato, así como la diversidad de roles implicados (por ejemplo tanto por los expertos de

negocios y los expertos técnicos), (ii) Otra situación que puede requerir diferentes dialectos visuales son los posibles diferentes medios de representación (por ejemplo instancias como pantallas, papel o tableros).

3.2 Resultado de la evaluación

Principio	Lenguaje WEBML	Lenguaje I*	Lenguaje BPMN 2.0	Lenguaje UCM	Lenguaje UML
Claridad Semiótica	*	*	**	*	*
Discriminabilidad Perceptual	**	*	**	**	*
Transparencia Semántica	**	*	*	*	*
Gestión de la Complejidad	**	-	***	*	-
Integración cognitiva	-	X	-	-	X
Expresividad Visual	**	**	**	***	*
Codificación Doble	*	-	*	**	**
Economía Gráfica	*	**	*	**	*
Ajuste cognitivo	*	X	**	-	X

Legenda: - Ninguno, * Pobre, ** bueno, *** excelente, x Criterio no evaluado.

3.2.1 Descripción de la valoración a cada lenguaje

Principio	Lenguaje WEBML	Lenguaje I*	Lenguaje BPMN 2.0	Lenguaje UCM	Lenguaje UML
Claridad Semiótica	Anomalías en los símbolos: sobrecarga y déficit. Serios problemas de exceso.	Anomalías en los símbolos: solo un caso de redundancia, serios problemas de sobrecarga. No hay exceso o déficit simbólico.	Se presenta sobrecarga y déficit simbólicos.	Anomalías en los símbolos: exceso, sobrecarga, redundancia poco apreciables y un serio déficit simbólico.	Se presenta exceso simbólico y serios niveles de redundancia y sobrecarga simbólicas.
Discriminabilidad Perceptual	Se utilizan 3 variables visuales: Forma,	La diferencia entre símbolos es muy poca y no del todo	Se utilizan 3 variables visuales: forma, color, y	Se utilizan 3 variables visuales: forma, color, y	Problemas de proximidad visual en los tipos de nodos y en

	Color y textura.	son intuitiva.	textura. 4 formas son usadas para derivar la mayoría de los símbolos.	textura.	algunos casos cero distancia (diferenciada solo por el carácter tipográfico o etiqueta textual).
Transparencia Semántica	Algunos símbolos son semánticamente opacos y translúcidos.	Uso de formas convencionales que por naturaleza son semánticamente opacos.	Uso de formas convencionales. Algunos símbolos son opacos, translúcidos y en algunos casos perversos.	Uso de formas convencionales que por naturaleza son semánticamente opacos.	Uso de formas convencionales que por naturaleza son semánticamente opacos, por lo que su significado debe ser aprendido.
Gestión de la Complejidad	Creación de módulos para uso de unidades y la estructura jerárquica.	No posee mecanismos de modularización o estructuración jerárquica.	Posee variados mecanismos de modularización y estructuración jerárquica.	No posee mecanismos de modularización. Hay mecanismos de estructuración jerárquica.	UML gestiona semánticamente la complejidad, por lo que no hay gestión desde el ámbito de la sintaxis visual.
Integración cognitiva	La combinación de diferentes modelos crea casos de símbolos gráficamente cercanos y en otros casos iguales.	No hay descripción relacionada con la interacción con otros sistemas.	La combinación de diferentes modelos crea casos de símbolos gráficamente cercanos y en otros casos iguales.	Falta de soporte para la integración cognitiva.	No hay descripción relacionada sobre mecanismos de integración cognitiva desde el ámbito de la sintaxis visual.
Expresividad Visual	Variables de transporte de información semántica: ubicación, forma, color y textura.	Uso limitado de forma, línea sólida y punteada (brillo). El uso del color es inconsistente. Uso de texto para definir las relaciones.	Ubicación, forma, color y textura, que pueden ser usadas para expresar notaciones secundarias.	Uso de ubicación, forma, color, tamaño y textura como primarias (la textura está saturada). Uso de brillo y orientación como secundarias.	La mayoría de los diagramas usan dos variables visuales: forma y brillo, en algunos casos la ubicación. El uso de texto para codificar explica la inexpresividad.
Codificación Doble	Anotaciones de texto en objetos XML. También se usa el texto	No hay presencia de texto como soporte de redundancia de	Limitado uso de la codificación doble.	Soporta comentarios, notas y símbolos híbridos.	Generalizado uso del texto.

	para representar algunas propiedades.	codificación simbólica.			
Economía Gráfica	70 símbolos gráficos.	17 símbolos gráficos.	171 símbolos gráficos.	28 símbolos gráficos.	excesiva cantidad de símbolos gráficos (más de 6) en todos los tipos de diagrama.
Ajuste cognitivo	Los mismos modelos para diferentes roles. No información sobre soporte a diferentes medios de representación.	No hay descripción relacionada.	La notación puede ser usada en varios contextos. Se presentan dificultades en novatos para la discriminar, recordar y diagramar.	El perfil de la audiencia está compuesta por expertos en notación, por lo que este criterio no es evaluado.	No hay información en el artículo sobre la posible implementación de mecanismos de ajuste cognitivo.

4. Discusión

Evaluaciones estudiadas. Históricamente los diseñadores e investigadores de notaciones visuales han ignorado y subestimado los temas de representación visual, enfocando los esfuerzos en las propiedades lógicas de los lenguajes (semántica) (Moody, 2009). Esto ha derivado en efectos negativos para la facilidad de entendimiento, la precisión y la velocidad en el entendimiento de lo representado, siendo el énfasis en las propiedades semánticas el sustento de la capacidad de estos lenguajes para la comunicación y la resolución de problemas. Podemos entonces preguntarnos ¿por qué los resultados de la evaluación indican positivas cualidades para estos lenguajes? Los artículos no indican precedentes históricos del desarrollo de estos lenguajes que fundamenten argumentos de efectividad cognitiva o perceptual. Sería deseable hacer estudios acerca del conjunto de decisiones y acontecimientos que acompañaron el desarrollo de estos lenguajes para poder encontrar decisiones que derivaron en virtudes de eficacia cognitiva encontradas en estos lenguajes.

Proceso de evaluación. La evaluación de la eficacia cognitiva podría mejorar desde una integración de principios de evaluación semántica y pragmática, donde las características e instancias de uso de estos lenguajes por parte del ser humano sean evaluadas desde una comprensión de la sinergia lógica (contenido) y física (forma) de estos principios y sus

relaciones en la totalidad del proceso de comunicación y uso del lenguaje evaluado.

Implicaciones en el MDD. El modelado como forma de representación abstracta de conocimientos y actividades del dominio es una parte fundamental del proceso de desarrollo en el MDD. El utilizar modelos visuales en el proceso de desarrollo dirigido por modelos brinda una gran utilidad en contextos donde los lenguajes de modelado visual ofrecen una mejor forma de representar un dominio. Desde el punto de vista de la experiencia de usuario y los procesos perceptuales y cognitivos que se dan en mente humana en el proceso de modelado, el que un lenguaje de modelado visual posea atributos que ofrezcan facilidad de entendimiento, precisión y velocidad en el procesamiento mental de lo representado, mejora el desempeño en el proceso de desarrollo, y dado el fundamental apoyo que el uso de lenguajes de modelado visual da al proceso de desarrollo en el paradigma MDD el tener en cuenta la efectividad cognitiva ofrecería mejoras en el proceso de representación del dominio de los lenguajes evaluados en los artículos, así como también ofrecería mejoras en el proceso de representación del dominio de nuevos lenguajes.

Principios de evaluación y su relación con el MDD. Es importante destacar que la totalidad de los resultados ofrecidos por estas evaluaciones no consideran dentro de la evaluación que la efectividad cognitiva puede variar de acuerdo al contexto del uso de cada lenguaje. En ese sentido, los resultados de evaluación que se discuten a continuación indican consideraciones generales sobre cada principio así como contextualizadas al MDD.

Principios de evaluación
<p>Claridad Semiótica: casi todos los lenguajes utilizados en el proceso de desarrollo dirigido por modelos presentan importantes deficiencias de claridad semiótica, a excepción del lenguaje BPMN, para el cual la evaluación indica buenos resultados, con la excepción de un déficit simbólico apreciable. Los déficits simbólicos de los lenguajes pueden ser matizados desde el punto de vista de su ajuste cognitivo. Aun así dentro del contexto del MDD la claridad semiótica es crítica en el proceso de creación y/o interpretación del dominio modelado, porque aportan precisión en la relación de los elementos del lenguaje y sus respectivos símbolos, donde la redundancia, sobrecarga, o déficit simbólicos limitan la precisión en la expresividad del lenguaje, aportando a la precisión en la descripción del dominio.</p>
<p>Discriminabilidad Perceptual: La facilidad y precisión con la cual los símbolos gráficos pueden ser diferenciados uno de otro facilita el proceso de representación de la notación en el proceso de desarrollo, de esta forma las deficiencias presentadas por los lenguajes UML e I* no facilitan su aprendizaje por parte de los novatos debido a que limitan el fácil reconocimiento de las variaciones visuales a través del inventario de símbolos. En instancias de modelamiento de un dominio en el MDD, el lenguaje requiere una mayor precisión para la descripción del dominio, y en ese sentido un mayor uso de su inventario simbólico, por lo que los procesos cognitivos utilizados para la discriminación de cada elemento de la</p>

notación utilizada en el proceso de modelamiento con estos lenguajes se ven sobrecargados por el uso de procesos cognitivos para el proceso de discriminación, en lugar del uso de procesos perceptuales.

Transparencia semántica: La mayoría de los lenguajes evaluados en los artículos enmarcados en el paradigma de desarrollo dirigido por modelos presentan deficiencia en este principio. Considero que el uso de símbolos semánticamente opacos de fácil discriminabilidad perceptual no necesariamente puede traducirse en deficiencias de efectividad cognitiva si la economía gráfica en uso es limitada si el contexto de su uso lo facilita. Aun así, es importante notar que en el contexto del MDD el uso de estos lenguajes puede requerir de ellos la mayor capacidad de expresividad y precisión posible, implicando el uso de la totalidad de la economía gráfica o una gran cantidad de ella, representando una sobrecarga cognitiva para el proceso de modelamiento con lenguajes con deficiencias en la transparencia semántica.

Gestión de la Complejidad: Se destaca el manejo de la complejidad en BPMN, gracias a sus características de modularización y niveles de abstracción (subprocesos colapsados, vínculos entre diagramas, etc), que junto a sus cualidades de claridad semiótica, discriminabilidad perceptual, expresividad visual y ajuste cognitivo, hacen de este lenguaje uno de los lenguajes más fáciles de aprender y de usar para expresar dominios complejos o que requieren un alto grado de expresividad y precisión para describir el dominio, como en el caso del contexto del MDD.

Integración cognitiva: Este principio presenta particularmente los peores resultados de evaluación (a excepción de las evaluaciones para UML e I* que no presentan referencias de evaluación a este principio). Es destacable como UML siendo un lenguaje estándar construido sobre un conjunto de diagramas no presenta una evaluación de este principio. Al parecer (Moody, Daniel, and Jos van Hilleberg, 2009), el consenso de expertos involucrados en su diseño no poseía la experiencia necesaria para incorporar características de integración cognitiva. Dentro del contexto del MDD es deseable que el que un lenguaje de modelado tenga características de integración cognitiva en contextos donde debe articularse a la descripción de un dominio complejo que requiere su integración con otros diagramas que podrían estar soportados por el mismo lenguaje y/u otros lenguajes.

Expresividad Visual: Usar un amplio rango de variaciones visuales a través de todo el vocabulario simbólico ofrece una representación perceptual enriquecida que maximiza la descarga computacional (Moody, 2009), pero este principio por sí solo, aplicado a los lenguajes evaluados, sin cuidar la sinergia con la transparencia semántica y la claridad semiótica, pueden conducir a sobrecargas cognitivas que afecten la velocidad y la precisión de percepción de la notación utilizada en el proceso de modelado, y siendo este un proceso crítico en el ámbito del MDD, ralentizaría el proceso de modelado.

Codificación Doble: El uso de texto y gráficos en conjunto para transmitir información es más eficaz que el uso por sí solos de textos o gráficos (Moody, 2009). Aunque este principio aplicado a los lenguajes evaluados puede ser matizado en el contexto donde el uso de texto no sea necesario, ya sea por consideraciones de ajuste cognitivo, por claridad y transparencia semánticas, y/o la semántica y/o pragmática del contexto, en el paradigma MDD es crítica la necesidad de precisión en la capacidad descriptiva del lenguaje de modelado usado para la representación del dominio, por lo que es relevante el uso de esta característica en el contexto del MDD.

Economía Gráfica: Debido a que la complejidad gráfica afecta más a novatos que a expertos (Moody, 2009) es importante procurar mantener una mínima cantidad de símbolos para facilitar la incorporación de sus significados. Reitero las bondades de contextualizar esto junto a las necesidades pragmáticas y semánticas del lenguaje de notación, apoyándose en los principios de expresividad visual, la claridad semántica y la transparencia semiótica. En ese sentido, en el contexto del MDD, la necesidad de precisión en la descripción un dominio se apoya en la capacidad de descripción del lenguaje o

lenguajes utilizados, pudiendo implicar con ello una mayor cantidad de elementos del inventario simbólico del lenguaje que en otros contextos puede no ser necesario.

Ajuste cognitivo: Posibilitar la capacidad del lenguaje a adaptarse a distintas audiencias y tareas facilita su uso por novatos y en entornos distintos. Discrepo de los argumentos encontrados por la UCM para justificar su deficiencia en el ajuste cognitivo, ya que, aunque la audiencia objetivo son los expertos, la experiencia frente a un tema se almacena a un nivel de procesamiento cognitivo distinto al nivel perceptual. Respecto al ajuste cognitivo y su impacto en el paradigma de MDD, El ajuste cognitivo es menor debido a la necesidad de usar una mayor cantidad de elementos del inventario simbólico del lenguaje, haciendo más complejo el proceso de adaptación de los novatos a estos lenguajes.

5. Conclusiones

El presente artículo refleja el resultado de la revisión de la literatura de artículos enmarcados en el ámbito de la evaluaciones de la experiencia de usuario al uso de lenguajes de modelado visuales vinculados con el paradigma de desarrollo/arquitectura/ingeniería dirigido/a por modelos utilizados en ambientes de aplicaciones web actuales (RIA). En dicho proceso se encontró que las evaluaciones de la eficacia cognitiva han representado un marco común de evaluación de esta experiencia de usuario, evaluando específicamente la velocidad, facilidad y precisión con la que una representación derivada del uso de un lenguaje de modelado puede ser procesada por la mente humana. El proceso de evaluación realizado a los artículos seleccionados ofrece una instancia de comparación de la eficacia cognitiva de los lenguajes WebML, I* framework, BPMN, UCM, UML utilizados en el MDD en ambientes de aplicaciones web actuales (RIA). En la discusión se exponen las consideraciones sobre las evaluaciones estudiadas, el proceso de evaluación realizado y los principios de eficacia cognitiva en el contexto de la evaluación y el MDD.

Desde el punto de vista de la experiencia de usuario en el proceso de desarrollo, el uso de un lenguaje que posea atributos de facilidad de entendimiento, precisión y velocidad del procesamiento de lo visualmente representado ofrece al desarrollo dirigido por modelos mejoras en la representación del dominio, derivando en un mejor desempeño del proceso de desarrollo. Dada la importancia del uso de modelos visuales en el proceso de desarrollo en el paradigma del desarrollo dirigido por modelos, el utilizar un lenguaje de modelado visual optimizado desde el punto de vista de la experiencia de usuario destaca aún más la relevancia del beneficio y utilidad que los atributos de la eficacia cognitiva ofrecen a los lenguajes de notación visual para representar un dominio.

Los criterios de evaluación de efectividad cognitiva se presentan como una herramienta útil

para mejorar la velocidad, facilidad y precisión con la que una representación puede ser procesada por la mente humana, pero debido a que esta mejora se sucede a nivel sintáctico, las deficiencias encontradas en las evaluaciones estudiadas se enfocan en deficiencias de carácter sintáctico, con las carencias que este enfoque puede implicar frente a efectos a nivel semántico y pragmático que inciden en el efectivo proceso de comunicación apoyado en los lenguajes de notación visual.

6. Referencias

- Amyot, D., Roy, J. F., & Weiss, M. (2005). UCM-driven testing of web applications. In *SDL 2005: Model Driven* (pp. 247-264). Springer Berlin Heidelberg.
- Brambilla, M., & Fraternali, P. (2013). Large-scale Model-Driven Engineering of Web User Interaction: The WebML and WebRatio experience. *Science of Computer Programming*.
- Calderon, J. A. A., Garrigós, I., Casteleyn, S., & Mazón, J. N. (2012). WebREd: a model-driven tool for web requirements specification and optimization. In *Web Engineering* (pp. 452-455). Springer Berlin Heidelberg.
- Ceri, S., Fraternali, P., & Bongio, A. (2000). Web Modeling Language (WebML): a modeling language for designing Web sites. *Computer Networks*, 33(1), 137-157.
- Genon, N., Amyot, D., & Heymans, P. (2011). Analysing the cognitive effectiveness of the UCM visual notation. In *System Analysis and Modeling: About Models* (pp. 221-240). Springer Berlin Heidelberg.
- Genon, N., Heymans, P., & Amyot, D. (2011). Analysing the cognitive effectiveness of the BPMN 2.0 visual notation. In *Software Language Engineering* (pp. 377-396). Springer Berlin Heidelberg.
- Herrero, J. L., & Carmona, P. (2013). A model-driven approach to develop high performance web applications. *Journal of Systems and Software*.
- Khalil, A., & Dingel, J. (2013). Supporting the Evolution of UML Models in Model Driven Software Development: A Survey.
- Moody, D. (2009). The “physics” of notations: toward a scientific basis for constructing visual notations in software engineering. *Software Engineering, IEEE Transactions on*, 35(6), 756-779.
- Reed, A. P. R., & Reed, J. (2005). *SDL 2005: Model Driven*.
- Schalles, C. (2013). A Framework for Usability Evaluation of Modeling Languages (FUEML). In *Usability Evaluation of Modeling Languages* (pp. 43-68). Springer Fachmedien Wiesbaden.