

## APLICACIÓN DE MÉTRICAS DE MADUREZ EN CONCEPTUALIZACIÓN DE SISTEMAS EXPERTOS

Pollo-Cattaneo, F.<sup>1,2</sup>, Britos, P.<sup>3,2</sup>, García-Martínez, R.<sup>3,2</sup>

<sup>1</sup> Cátedra de Inteligencia Artificial. Facultad Regional Buenos Aires. UTN

<sup>2</sup> Laboratorio de Sistemas Inteligentes. Facultad de Ingeniería. UBA

<sup>3</sup> Centro de Ingeniería de Software Ingeniería del Conocimiento. Escuela de Postgrado. ITBA

florencia@sistemas.frba.utn.edu.ar, pbritos@itba.edu.ar, rgm@itba.edu.ar

### 1. Introducción

Para poder llegar a cumplir con un desarrollo de sistema software, se deben comprender múltiples elementos, desde el escenario en donde éste se desarrolla, los riesgos que lo involucran y los recursos. Cuando se habla de recursos, estamos presentes frente a: tiempo insumido, dinero, esfuerzo humano y recurso técnico. Son estos y otros elementos los que se deben gestionar hábilmente cuando se decide implementar un proyecto de desarrollo de software. Descubrir métodos, técnicas y herramientas que faciliten esta función ha sido y es un área de investigación y desarrollo dentro de la Ingeniería en Conocimiento.

La planificación juega un papel fundamental en la gestión de cualquier proyecto, es así que para el desarrollo de sistemas expertos o sistemas basados en conocimientos, dicha actividad goza de particularidades que la hacen altamente compleja. Para planificar, se debe estimar esfuerzo humano (persona/ tiempo), costo y tiempo. Pero bien se sabe que cuando alguien desea algo si lo puede expresar en forma cuantitativa es capaz de definir cuan lejos se encuentra, si ha llegado o no y en cuánto ha fallado. Para esto se tienen métricas, que permiten obtener información y así generar conocimiento de la evolución y alcance del proyecto en el cual nos encontramos. Proceso y producto son los elementos protagonistas de estas técnicas de medición, la conceptualización es una fase que merece ser medida para así poder estimar actividades futuras, obtener información del estado de madurez de mi conocimiento sobre el dominio y sus particularidades.

Este artículo pretende completar el estudio de casos propuestos en [Hauge, O; *et al*, 2006] y obtener conclusiones a partir de la comparación en los valores obtenidos frente a la métrica que aportan los autores.

### 2. Dominio del Problema

Dentro de la actividad ingenieril en general se mide lo que sucede en el proceso en forma constante, tener información cuantitativa sobre un objeto o un elemento permite poder compararlo contra otro elemento u objeto semejante y así obtener conclusiones que permitan conocer dicho objeto por medio de su comportamiento. Medir implica, entre otras cosas, reconocer qué características de un objeto son representativas para estudiar su comportamiento y, a partir de allí, la información que se obtenga será altamente dependiente del conjunto de características que haya decidido medir. Se dice que uno es, lo que otros pueden afirmar de uno y, en este caso, las métricas me permiten afirmar y decir en cuánto se cumple con determinada característica y en cuanto no. Así se puede relacionar y tener un orden entre elementos de un mismo universo. Por eso es fundamental encontrar formas de medir que sean robustas y que permitan obtener conclusiones consistentes y objetivas en diferentes dominios. Medir, en la Ingeniería en Software es complejo, representamos procesos lógicos del individuo, potenciamos capacidades psíquicas de las personas; cómo podemos medir su esfuerzo (y el nuestro) es una ardua tarea. Si esto es complejo en la Ingeniería en Software, resulta altamente complicado en la Ingeniería del conocimiento también, sobre todo teniendo presente que casi no existen métricas en la disciplina. Obtener una métrica y validarla es el objetivo que pretendemos

alcanzar y así contribuir con herramientas que permitan al Ingeniero en Conocimiento realizar un control efectivo de sus funciones.

### 3. Aproximación a la solución

La métrica de madurez de conceptualización en los Sistemas Expertos propuesta en [Hauge *et al.*, 2006], estudia el dominio del problema dentro del contexto del desarrollo del Sistemas Expertos, la misma posee simpleza al momento de su implementación, ya que se basa en Reglas, Conceptos, Atributos y Niveles de Descomposición. Estos elementos son fáciles de encontrar y contabilizar dentro del ámbito de desarrollo del sistema experto, también podemos afirmar que la métrica brinda información sobre: la madurez de la base de conocimientos y la complejidad del dominio.

### 4. Casos de Estudio

Para la validación de resultados de la métrica propuesta se toma como casos de estudio los sistemas expertos obtenidos de los desarrollos de tesis de Magíster del Centro de Ingeniería del Software e Ingeniería del Conocimiento del Instituto Tecnológico de Buenos Aires (Tabla 1).

| ORDEN | DESCRIPCIÓN  | REFERENCIA             |
|-------|--|------------------------|
| 1     | <b>Sistema de Ayuda sobre Legislación Argentina en Riesgos de Trabajo.</b> Este sistema ayuda al usuario a encontrara dentro de la legislación argentina, material relativo a los accidentes de trabajo. Se consume mucho tiempo dentro de las leyes para encontrar el material correcto y es este sistema el encargado de ayudar a ahorrar tiempo en esta búsqueda  | [Britos, 2001]         |
| 2     | <b>Sistema experto para la Asistencia a la toma de decisiones en Centro de Información y Control Aéreo.</b> Este sistema da soporte a las decisiones de torres de control para aeropuertos   | [Ierache, 2002]        |
| 3     | <b>Sistema Experto de Ayuda para la Selección del Modelo de Ciclo de Vida.</b> El sistema asiste al Ingeniero en software en selección del ciclo de vida más adecuado para un proyecto de desarrollo en particular, colaborando en el análisis de las características más relevantes a tener en cuenta.  | [Rossi, 2001]          |
| 4     | <b>Sistema Experto Asistente de Requerimientos.</b> Sistema experto que asiste al ingeniero en software en la descripción del problema elaborando el documento de requerimientos de un sistema software.   | [Rizzi, 2001]          |
| 5     | <b>Sistema Experto para la Asistencia Respiratoria Mecánica con Respiradores de Alta Frecuencia.</b> Sistema de asistencia en el manejo de ventiladores de alta frecuencia oscilatoria para pacientes neonatales siguiendo los pasos de la metodología IDEAL.  | [Bermejo, 2002]        |
| 6     | <b>Sistema de Asistencia para la Selección de Estrategias y Actividades Instruccionales.</b> Sistema que captura el “saber hacer” de diseñadores instruccionales y por lo tanto es capaz de recomendar estrategias adecuadas que faciliten el alcance de los objetivos de la instrucción por parte de los educandos, en el contexto del ambiente de aprendizaje que se trate.  | [Hossian, 2003]        |
| 7     | <b>Sistema Informático Jurídico para la Individualización y Acuerdos sobre la Pena.</b> Legal Advisor, en adelante LEAD, es un sistema informático jurídico que tiene por objeto asistir a los operadores de la justicia –jueces, fiscales y defensores- del fuero penal en el proceso de individualización de la pena.  | [Gómez, 2003]          |
| 8     | <b>Sistema sobre Reclamos Concernientes a Venta Minorista.</b> El sistema desarrollado encuentra soluciones a reclamos de clientes, evaluando el delicado equilibrio entre la satisfacción del cliente y el costo para la empresa. El sistema además brinda dos niveles diferentes de soluciones y da la justificación de cada una de ellas.   | [Cao, 2003]            |
| 9     | <b>Sistema Generador del Mapa de Actividades de un Proyecto de Desarrollo de Software.</b> Sistema basado en conocimientos que asiste al responsable de un proyecto de desarrollo de software, en la elaboración del mapa de actividades del mismo. El sistema permite ingresar las particularidades del proyecto, infiere el mapa de actividades sobre la base de la metodología estándar Métrica Versión 3 y lo presenta en un formato electrónico estándar. | [Diez, 2003]           |
| 10    | <b>Sistema de Ayuda para la Atención de Incidentes y Solicitudes de un Data Center.</b> Sistema que asiste a un operador novato / sin experiencia a atender incidentes y solicitudes, reduciendo la curva de aprendizaje, los costos de capacitación y los originados por la comisión de errores.  | [Di Girolamo, 2004]    |
| 11    | <b>Sistema para la evaluación del Alistamiento.</b> Documentación de base y caso piloto para el Proyecto MARSEA – Sistema para la Evaluación del Alistamiento que se encuentra en etapa de implementación para una compañía armadora.  | [Rancán, 2004]         |
| 12    | <b>Sistema para el Análisis y Diagnóstico de Fallas Eléctricas de Transmisión.</b> Sistema que asiste a técnicos, especialistas y operadores en la obtención del diagnóstico inmediatamente después de producida una falla eléctrica de transmisión.   | [Degl’Innocenti, 2004] |

Tabla 1. Casos de sistemas expertos utilizados en el estudio

## 5. Resultados

En las siguientes subsecciones se detallan los resultados obtenidos para cada métrica en cada caso y se da una interpretación de los resultados.

### 5.1. Cantidad de Conceptos, Cantidad de Reglas o Cantidad de Atributos

| Identificación del Sistema | 1   | 2   | 3   | 4  | 5  | 6   | 7  | 8  | 9   | 10 | 11 | 12  |
|----------------------------|-----|-----|-----|----|----|-----|----|----|-----|----|----|-----|
| Cantidad de Conceptos      | 17  | 20  | 11  | 7  | 5  | 22  | 11 | 6  | 3   | 10 | 24 | 7   |
| Cantidad de Atributos      | 81  | 126 | 74  | 29 | 30 | 142 | 36 | 35 | 152 | 54 | 27 | 60  |
| Cantidad de Reglas         | 472 | 155 | 115 | 40 | 43 | 138 | 22 | 66 | 181 | 19 | 71 | 174 |

Esta métrica es simple, tiene por objetivo medir la complejidad del dominio. Su valor debería ir creciendo a lo largo de todo el proyecto, excepto en las etapas finales en las cuales debería converger a un valor. Si se poseen datos históricos, se pueden comparar los resultados parciales, y así detectar desvíos. Podemos afirmar que el sistema 1 resulta de uno de los más complejos, en cuanto a la definición de las reglas, y que la cantidad de conceptos no se encuentra relacionada directamente con la cantidad de reglas, por ende se infiere que los atributos poseen muchos valores y existe gran cantidad de combinatoria de los mismos. El sistema 6 resulta de los más complejos en cuanto a la cantidad de conceptos atributos y reglas, conforme describen un dominio amplio (en donde se manejan estrategias).

### 5.2. Cantidad de Conceptos en Reglas / Cantidad de Conceptos

| Identificación del Sistema      | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Cantidad de Conceptos en Reglas | 7    | 19   | 8    | 5    | 5    | 22   | 9    | 6    | 3    | 10   | 24   | 7    |
| Cantidad de Conceptos           | 17   | 20   | 11   | 7    | 5    | 22   | 11   | 6    | 3    | 10   | 24   | 7    |
| <b>Resultado</b>                | 0,41 | 0,95 | 0,73 | 0,71 | 1,00 | 1,00 | 0,82 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

Para esta medición podemos ver que los sistemas: 5, 6, 8, 9, 10, 11 y 12 poseen todos sus conceptos relacionados en las reglas, lo cual indicaría un proyecto en estado de madurez.

### 5.3. Cantidad de Atributos en Reglas / Cantidad de Atributos

| Identificación del Sistema      | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Cantidad de Atributos en Reglas | 50   | 121  | 70   | 25   | 28   | 96   | 32   | 30   | 149  | 46   | 19   | 54   |
| Cantidad de Atributos           | 81   | 126  | 74   | 29   | 30   | 142  | 36   | 35   | 152  | 54   | 27   | 60   |
| <b>Resultado</b>                | 0,62 | 0,96 | 0,95 | 0,86 | 0,93 | 0,68 | 0,89 | 0,86 | 0,98 | 0,85 | 0,70 | 0,90 |

Esta métrica se asemeja a la anterior. Aquí los sistemas 2, 3 y 9 serían los que se destacan (sólo se repite de la medición anterior el 9). Los sistemas 1 y 6 poseen una baja relación entre los atributos y las reglas. Con la salvedad que, en la medición anterior, el sistema 1 también se encontraba con baja puntuación, no así el 6. Es por eso que esta propuesta es necesaria independientemente de la anterior. Puedo tener pocos conceptos por regla pero con muchos atributos y viceversa.

### 5.4. Cantidad de Conceptos / Cantidad de Reglas

| Orden del Sistema     | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Cantidad de Conceptos | 17   | 20   | 11   | 7    | 5    | 22   | 11   | 6    | 3    | 10   | 24   | 7    |
| Cantidad de Reglas    | 472  | 155  | 115  | 40   | 43   | 138  | 22   | 66   | 181  | 19   | 71   | 174  |
| <b>Resultado</b>      | 0,04 | 0,13 | 0,10 | 0,18 | 0,12 | 0,16 | 0,50 | 0,09 | 0,02 | 0,53 | 0,34 | 0,04 |

Los resultados en general son bajos, lo cual indicaría dominios relativamente complejos y maduros. De todas formas se destacan los sistemas 1, 9 y 12.

### 5.5. Promedio de la Cantidad de Atributos por Concepto

| Orden del Sistema     | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9     | 10   | 11   | 12   |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
| Cantidad de Atributos | 81   | 126  | 81   | 29   | 30   | 142  | 36   | 35   | 152   | 54   | 27   | 60   |
| Cantidad de Conceptos | 17   | 20   | 11   | 7    | 5    | 22   | 11   | 6    | 3     | 10   | 24   | 7    |
| <b>Promedio</b>       | 4,76 | 6,30 | 7,36 | 4,14 | 6,00 | 6,45 | 3,27 | 5,83 | 50,67 | 5,40 | 1,13 | 8,57 |

Esta métrica es un indicador de la complejidad del dominio. No podemos dejar de destacar el resultado del sistema 9. El número de atributos por concepto indica una complejidad de los conceptos del dominio y pocos conceptos con una gran cantidad de atributos. Por otro lado los sistemas 7 y 11 con bajos promedios podrían dar idea de dominios menos complejos, o de conceptos con pocos atributos. Se debería identificar si no han quedado algunos atributos fuera de consideración.

### 5.6. Promedio de la Cantidad de Conceptos incluidos en cada regla

| Orden del Sistema | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Promedio</b>   | 1,24 | 1,64 | 2,04 | 1,40 | 1,97 | 1,80 | 2,02 | 1,43 | 1,95 | 1,70 | 1,61 | 1,50 |

Esta métrica se refiere a la complejidad del problema a través del promedio de conceptos incluidos en cada regla. Es más útil si se posee información histórica, la cual no poseemos. De todas formas podemos observar que los sistemas 3 y 5 resultarían, desde esta perspectiva, con un dominio complejo.

### 5.7. Promedio de la Cantidad de Atributos incluidos en cada regla

| Orden del Sistema | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Promedio</b>   | 2,17 | 2,81 | 2,59 | 1,87 | 3,87 | 3,25 | 2,49 | 3,51 | 2,85 | 3,60 | 3,43 | 3,90 |

Siendo esta métrica semejante a la anterior podemos afirmar que el sistema 5, nuevamente, se destaca como complejo respecto del resto. Desde esta óptica se incorpora el sistema 12 con una alta cantidad de atributos por reglas. Pero en la medida anterior no se destacó. Con lo cual podríamos inferir, en forma parcial, que posee en las reglas pocos conceptos y, éstos, a su vez, poseen gran cantidad de atributos.

### 5.8. A\*Promedio de Reglas por cada Concepto\* B\*Cantidad de Conceptos

| Orden del Sistema               | 1     | 2     | 3      | 4     | 5     | 6      | 7     | 8      | 9     | 10     | 11     | 12    |
|---------------------------------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|
| Promedio de Reglas por Concepto | 34,50 | 15    | 18,24  | 13    | 9,60  | 7,40   | 7,34  | 18     | 20,50 | 23,66  | 5,60   | 8,75  |
| Cantidad de Conceptos           | 17    | 20    | 11     | 7     | 5     | 22     | 11    | 6      | 3     | 10     | 24     | 7     |
| <b>Promedio</b>                 | 586,5 | 300,0 | 200,64 | 91,00 | 48,00 | 162,80 | 80,74 | 108,00 | 61,50 | 236,60 | 134,40 | 61,25 |

Bajo este enfoque, el sistema 1 se refleja como un sistema mayor al resto con una gran cantidad de reglas. Lo secunda el sistema 2.

### 5.9. Promedio de Reglas por cada Atributo

| Orden del Sistema | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10    | 11   | 12   |
|-------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|
| <b>Promedio</b>   | 12,60 | 3,45 | 3,20 | 3,66 | 3,11 | 2,50 | 2,41 | 7,25 | 11,2 | 10,50 | 2,10 | 6,60 |

A partir de la lectura de la tabla podemos inferir nuevamente, que el sistema 1 se destaca del resto, teniendo para cada atributo un mayor número de reglas asociadas.

### 5.10. Promedio de Reglas por cada Concepto

| Orden del Sistema | 1     | 2  | 3     | 4  | 5    | 6    | 7    | 8  | 9     | 10    | 11   | 12   |
|-------------------|-------|----|-------|----|------|------|------|----|-------|-------|------|------|
| <b>Promedio</b>   | 34,50 | 15 | 18,24 | 13 | 9,60 | 7,40 | 7,34 | 18 | 20,50 | 23,66 | 5,60 | 8,75 |

Teniendo en cuenta la información disponible en la tabla podemos identificar como el sistema 1 se alista con un valor mayor al resto. Lo cual indicaría que cada concepto se encuentra, en promedio, en un mayor número de reglas que el resto.

## 6. Conclusiones

El objetivo de validar la métrica propuesta [Hauge, O; *et al*, 2006] con un conjunto de casos variados presentados anteriormente, permite obtener conclusiones respecto de la complejidad de los diversos dominios de aplicación. Podremos concluir que el sistema 1 posee un dominio complejo, en donde no tenemos gran cantidad de conceptos por regla, pero cada concepto definido participa en un gran número de reglas. Lo mismo sucede con sus atributos. Los sistemas 6, 7 y 10 poseen más cantidad de atributos que reglas. Esta proporción los pone en desventaja del resto al momento de relacionar atributos y reglas. Es importante dar una lectura a todas las métricas, ya que brindan una perspectiva diferente de cada dominio en particular. El sistema 9 a pesar de poseer pocos conceptos, lo cual podrían hacer pensar de su simpleza, ésta se revierte en los cálculos siguientes (tablas 14, 15 y 17). Es interesante observar cómo la proporción entre la cantidad de conceptos, atributos y reglas entre sí impactan en los diferentes cálculos. De todas formas podemos observar que a partir de considerar estas mediciones, el Ingeniero en Conocimiento, puede alertarse de posibles omisiones o errores de definición dentro del dominio de conceptos, atributos y reglas. Como línea futura de trabajo se considera necesario obtener los resultados de las métricas durante el desarrollo de un sistema experto y así poder analizar los valores que se obtienen a lo largo del proyecto.

## 7. Referencias

- Bermejo, F. 2002. *Sistema Experto para la Asistencia Respiratoria Mecánica con Respiradores de Alta Frecuencia*. Tesis de Magister en Ingeniería del Software. Centro de Ingeniería del Software e Ingeniería del Conocimiento. ITBA.
- Britos, P. 2001. *Sistema de Ayuda sobre Legislación Argentina en Riesgos de Trabajo*. Tesis de Master en Ingeniería del Conocimiento. Facultad de Informática. Universidad Politécnica de Madrid.
- Cao, J. 2003. *Sistema sobre Reclamos Concernientes a Venta Minorista*. Tesis de Magister en Ingeniería del Software. Centro de Ingeniería del Software e Ingeniería del Conocimiento. ITBA.
- Degl'Innocenti, A. 2004. *Sistema para el Análisis y Diagnóstico de Fallas en Líneas Eléctricas de Transmisión*. Tesis de Magister en Ingeniería del Software. Centro de Ingeniería del Software e Ingeniería del Conocimiento. ITBA.
- Di Girolamo, C. 2004. *Sistema de Ayuda para la Atención de Incidentes y Solicitudes de un Data Center*. Tesis de Magister en Ingeniería del Software. Centro de Ingeniería del Software e Ingeniería del Conocimiento. ITBA.
- Diez, E. 2003. *Sistema Generador del Mapa de Actividades de un Proyecto de Desarrollo de Software*. Tesis de Magister en Ingeniería del Software. Centro de Ingeniería del Software e Ingeniería del Conocimiento. ITBA.
- Gómez, S. 2003. *Sistema Informático Jurídico para la Individualización y Acuerdos sobre la Pena*. Tesis de Magister en Ingeniería del Software. Centro de Ingeniería del Software e Ingeniería del Conocimiento. ITBA.
- Hauge, O., Britos, P., García-Martínez, 2006. *Conceptualization Maturity Metrics for Expert Systems*. IFIP International Federation for Information Processing, Volume 217, ed. M. Bramer, (Boston: Springer), pp. 435-444.
- Hossian, A. 2003. *Sistema de Asistencia para la Selección de Estrategias y Actividades Instruccionales*. Tesis de Magister en Ingeniería del Software. Centro de Ingeniería del Software e Ingeniería del Conocimiento. ITBA.
- Ierache, J. 2002. *Sistema Experto para la Asistencia a la Toma de Decisiones en Centro de Información y Control Aéreo*. Tesis de Magister en Ingeniería del Software. Centro de Ingeniería del Software e Ingeniería del Conocimiento. ITBA.
- Rancán, C. 2004. *Sistema para la evaluación del Alistamiento*. Tesis de Magister en Ingeniería del Software. Centro de Ingeniería del Software e Ingeniería del Conocimiento. ITBA.
- Rizzi, M. 2001. *Sistema Experto Asistente de Requerimientos*. Tesis de Magister en Ingeniería del Software. Centro de Ingeniería del Software e Ingeniería del Conocimiento. Instituto Tecnológico de Buenos Aires.
- Rossi, B. 2001. *Sistema Experto de Ayuda para la Selección del Modelo de Ciclo de Vida*. Tesis de Master en Ingeniería del Conocimiento. Facultad de Informática. Universidad Politécnica de Madrid.