

MANTICA: Una Herramienta de Métricas para Modelos de Datos

Marcela Genero, Mario Piattini, Coral Calero, Joaquín Rincón-Cinca, Manuel Serrano

{mgenero, mpiattin, ccalero, jrincon, mserrano }@inf-cr.uclm.es

Grupo ALARCOS

Departamento de Informática

Escuela Superior de Informática

Universidad de Castilla-La Mancha

Ronda de Calatrava, 5 - 13071 - Ciudad Real – ESPAÑA

Tel.: + 34 926 29 53 00 ext. 3715

fax: + 34 926 29 53 54

Resumen. La creciente demanda de sistemas de información (SI) de calidad ha hecho de la calidad un factor de discriminación entre productos. Dado el rol fundamental que juegan los datos en un SI creemos necesario enfocar la evaluación de su calidad centrándonos en la calidad de los modelos de datos. El modelo de datos conceptual es la base para todo el trabajo de diseño posterior, y es un factor determinante en la calidad del diseño del sistema global. Por lo tanto creemos que es fundamental poder evaluar la calidad de los modelos de datos, para contribuir al desarrollo SI de calidad.

En este trabajo proponemos un conjunto métricas que permiten evaluar la calidad de los diagramas entidad interrelación (ER). Pero el objetivo principal de este artículo no es la definición de métricas, sino mostrar el diseño de una herramienta genérica de métricas, MANTICA. El diseño genérico de esta herramienta hace que sea muy flexible y fácilmente extensible par medir cualquier modelo de datos.

1. Introducción

La creciente demanda de sistemas de información (SI) de calidad ha hecho de la calidad un factor de discriminación entre productos, y clave para su éxito. Dado el rol fundamental que juegan los datos en un SI creemos necesario enfocar la evaluación de su calidad centrándonos en la calidad de los modelos de datos. El modelo de datos conceptual es la base para todo el trabajo de diseño posterior, y es un factor determinante de la calidad del diseño del sistema global. Por lo tanto, creemos fundamental poder evaluar la calidad de los modelos de datos, para contribuir a desarrollar SI de calidad.

En la práctica, la evaluación de la calidad de los modelos de datos conceptuales se realiza de una manera “ad hoc”. No existe un acuerdo común de cual es la mejor manera de evaluar su calidad. Muchos autores (Batini et al., 1992; Reingruber y Gregory, 1994), se han limitado a proponer una lista de propiedades que debe satisfacer un modelo de datos de calidad, pero las definiciones de tales propiedades muchas veces se solapan, presentan ambigüedades, son complicadas y a veces, incluso son insuficientes (Lindland et al., 1994).

Recientemente otros autores (Lindland et al., 1994; Krogstie et al; 1995; Moody et al., 1998, Schuette y Rotthowe, 1998), han propuesto marcos de referencia para abordar la calidad en el modelado conceptual de una manera más sistemática. Si bien estos marcos constituyen una gran contribución, carecen de medidas que permitan evaluar o cuantificar la calidad de una manera objetiva evitando la subjetividad y los sesgos en el proceso de evaluación de la calidad.

En el campo de la medición del software la mayoría de los trabajos de investigación realizados se refieren a la calidad de los programas (McCabe, 1976; Melton, 1996; Fenton y Pflieger, 1997) dejando de lado la definición de métricas para otros productos desarrollados a lo largo del ciclo de vida de un SI, como por ejemplo, los modelos de datos, tanto conceptuales como lógicos.

Algunas de las métricas que surgieron para medir la calidad de los modelos de datos conceptuales (Eick, 1991; Gray et al.,1991; Kesh,1995; Moody, 1998) son calculadas objetivamente, mientras que

otras están basadas en valoraciones hechas por los expertos. Además, la mayoría carecen de validación teórica y empírica, temas que no se puede olvidar al hablar de métricas. Según muchos autores (Kitchenham et al.; 1995; Fenton and Pflieger, 1997; Basili, 1999) la validación tanto teórica como empírica de las métricas es un factor fundamental para su éxito en la práctica.

Dado el panorama existente nos vimos en la necesidad definir y validar métricas para modelos de datos conceptuales (Genero, et al, 2000a; Genero et al, 2000b). Específicamente, nos centramos en los diagramas entidad interrelación (E/R), ya que, en el mundo de los SI, sigue siendo aún el método de modelado más utilizado (Muller, 1999). Nuestro objetivo al definir métricas es poder medir la complejidad estructural de los diagramas E/R, considerando que tal complejidad puede influir considerablemente en el esfuerzo de desarrollo y mantenimiento de los SI que serán finalmente implementados. Además, estas medidas pueden ayudar a los profesionales e investigadores a tomar las mejores decisiones (Pfleeger, 1997), y a los diseñadores a elegir entre distintos modelos de datos alternativos.

La posibilidad de desarrollar un marco efectivo para la medición requiere un soporte metodológico, pero también es muy importante el aspecto tecnológico (Lavazza, 2000), es decir, para que las métricas puedan ser evaluadas de un modo práctico, eficiente y exacto es necesario contar con herramientas que permitan automatizar la adquisición, la presentación y el análisis de los valores de las métricas (Giles y Daich, 1995).

Existen varios estudios dedicados a la evaluación y comparación de herramientas de métricas (Software Measurement Laboratory, 2000; Giles y Daich, 1995; Daich y Giles, 1995; Daich et al., 1995; Erickson y Steadman, 1995; Kingsbury y Dawood, 1995; Giles y Barney; 1995) pero ninguna de las herramientas analizadas se refieren a la medición de diagramas E/R. Es incluso paradójico que existiendo bastantes esfuerzos en el área de la medición del código, el área de los modelos de datos esté tan olvidada, ya que todo el mundo es consciente de la importancia de los modelos de datos en el desarrollo de cualquier sistema informático. Por ello, hemos diseñado e implementado la herramienta MANTICA, que no sólo sirve para medir modelos de datos conceptuales, como los diagramas E/R, sino también modelos de datos lógicos, como relacionales y objeto-relacionales (Calero et al., 1999; Calero et al., 2000).

Las ventajas de contar con una herramienta que permita automatizar la adquisición, la presentación y el análisis de los valores de las métricas son (Lavaza, 2000):

- Posibilidad de obtener los valores de las métricas sin mayor esfuerzo
- Minimizar los errores en el cálculo de las métricas, logrando una mayor exactitud en sus valores
- Poder centrarse en el análisis de los resultados de la medición y no en la etapa de adquisición

En este trabajo mostraremos un conjunto de métricas definidas para medir la complejidad estructural de los diagramas E/R (sección 2), presentaremos un estudio sobre los algunos trabajos realizados sobre herramientas de métricas (sección 3), propondremos el diseño de la herramienta de métricas MANTICA (sección 4). Finalmente, en la sección 5, presentaremos las conclusiones y nuestras líneas de trabajo futuro.

2. Métricas para la Complejidad Estructural de los Diagramas ER

Dentro de nuestro grupo de investigación hemos definido un conjunto de métricas (Genero et al., 2000a; Genero et al., 2000b) que permiten medir la complejidad estructural de los diagramas E/R. Estas métricas se agrupan en:

- **Métricas acotadas** (Lethbridge, 1998): Una métrica acotada es aquella en la cual las mediciones siempre caen dentro de un rango (en nuestro caso [0,1]), y es imposible que sobrepasen dicho rango. Por ejemplo algunas de las definidas en (Genero et al., 2000a) son:
DA%. Porcentaje de atributos que son derivados con respecto al número total de atributos en un diagrama E/R.
CA%. Porcentaje de atributos que son compuestos con respecto al número total de atributos en un diagrama E/R.
RR%. Porcentaje de relaciones que son redundantes con respecto al número total de relaciones en un diagrama E/R.
SCO. Cohesión del diagrama E/R.

$$SCO = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{|U|} (N_i^E)^2}{(N^E)^2}$$

N^E es el número total de entidades.
 $|U|$ es el número de subgrafos no relacionados.
 N_i^E es el número de entidades que hay el subgrafo "i".

- **Métricas no acotadas** (Lethbridge, 1998): Una métrica es no acotada si al menos uno de los límites de su rango no es fijo. Por ejemplo algunas de las definidas en (Genero et al., 2000b) son:
NE. Número de entidades en un diagrama E/R.
NR. Número de relaciones en un diagrama E/R.
DA. Número de atributos derivados en un diagrama E/R.
CA. Número de atributos compuestos en un diagrama E/R.
MVA. Número de atributos multivaluados en un diagrama E/R.
IS_Arel. Número de relaciones IS_A en un diagrama E/R.
M:Nrel. Número de relaciones M:N en un diagrama E/R.
N-AryRel. Número de relaciones N-arias en un diagrama E/R.

3. Estudio sobre herramientas de métricas

Giles y Daich (1995) distinguen tres tareas principales que deben realizar las herramientas de métricas y, dentro de ellas, han clasificado las diferentes capacidades que cada herramienta puede soportar:

- 1) **Adquisición de datos**: manual, semiautomática, automática y programable.
- 2) **Análisis de las mediciones**: almacenamiento de los datos, recuperación de los datos, análisis aritmético, análisis estadístico.
- 3) **Presentación de los datos**: tablas, gráficos, posibilidad de exportar archivos a otras aplicaciones

Basándose en las principales tareas que mencionamos anteriormente Giles y Daich (1995) han distinguido dos categorías de herramientas:

- 1) **Herramientas de métricas general**: diseñadas especialmente para trabajar con métricas.
- 2) **Herramienta de métricas específicas**: diseñadas para otras funciones y que además calculan algunas métricas específicas, como por ejemplo, las clásicas herramientas de gestión de proyectos.

Considerando las dos categorías de herramientas definidas, Daich y Giles (1995) han analizado cada una de las herramientas existentes teniendo en cuenta las diferentes capacidades de cada una de ellas. De tal análisis, podemos decir que hay una gran carencia en herramientas de métricas generales, y que además, la mayoría de las herramientas de métricas existentes se refieren a medir programas, o bien a la administración y planificación de proyectos.

4. Diseño de la herramienta MANTICA

MANTICA está diseñada para ser una herramienta de métricas general, que persigue los siguientes objetivos:

- Automatizar el cálculo de métricas de calidad de modelos de datos, tanto conceptuales (diagrama E/R) como lógicos (relacionales, objeto-relacionales)
- Mostrar la información obtenida de forma gráfica y útil
- Almacenar los modelos y los valores de sus métricas para poder hacer estudios estadísticos
- Comparar modelos de datos alternativos para un mismo dominio de aplicación
- Gestionar la evolución de un modelo de datos en el tiempo, haciendo el seguimiento de los valores de sus métricas según el modelo evoluciona

De acuerdo a las distintas tareas que debe realizar una herramienta de métricas general según Daich y Giles (1995) podemos decir que MANTICA permite:

- 1) Adquisición de datos: manual, automática.
- 2) Análisis de las mediciones: almacenamiento de los datos, recuperación de los datos, análisis aritmético.
- 3) Presentación de los datos: tablas, gráficos, posibilidad de exportar archivos a otras aplicaciones

Como primer objetivo nos planteamos diseñar una metabase de datos global, para almacenar no sólo los modelos de datos a medir, sino también los valores obtenidos en tales mediciones y, a partir de esa metabase de datos, obtener vistas específicas para cada tipo de modelos de datos, ya sean conceptuales, como el diagrama E/R, o lógicos como esquemas relacionales, objeto-relacionales, etc...

4.1 Diseño de la metabase de datos

Dado el rol protagonista que desempeña la metabase de datos en el diseño de la herramienta MANTICA, nos vimos en la necesidad de construir un metamodelo de datos suficientemente genérico, que sirva para medir cualquier modelo de datos. Este metamodelo (ver figura 1) representa el diseño de la metabase de datos donde se almacenarán los modelos de datos que serán medidos.

Para explicar el metamodelo consideraremos que lo vamos a utilizar para almacenar diagramas E/R. Un diagrama E/R está formado únicamente por elementos y las relaciones que existen entre ellos. De esta manera, podemos considerar que un elemento de un diagrama E/R puede ser una entidad, un atributo o una interrelación y que una asociación entre elementos puede ser por ejemplo la pertenencia de un atributo a una entidad o la participación de una entidad en una interrelación. Así, vemos en la figura 1 que un elemento se asocia con otro en un tipo de asociación concreta. No obstante estas asociaciones entre elementos deben estar permitidas, para poder realizarse. Por ello, podemos observar que existe una relación semejante al “*homomorfismo*” que describe Rumbaugh et al. (1991) en el modelo OMT, de tal manera que para que un elemento este asociado con otro mediante un tipo de asociación, debe estar definido que los tipos de los elementos a los que pertenecen los elementos implicados, sean válidos para dicho tipo de asociación. De esta manera podemos definir la siguiente restricción al modelo:

Si Asocia (Elemento(X), Elemento(Y), Tipo_Asociacion(Z))

/ X es Dominante y Y es Subordinado

=> Si AsociaT (Tipo_Elemento(J), Tipo_Elemento(K), Tipo_Asociacion(Z))

/ J es Dominante y K es Subordinado

y Es_un (Elemento(X), Tipo_Elemento(J))

y Es_un (Elemento(Y), Tipo_Elemento(K))

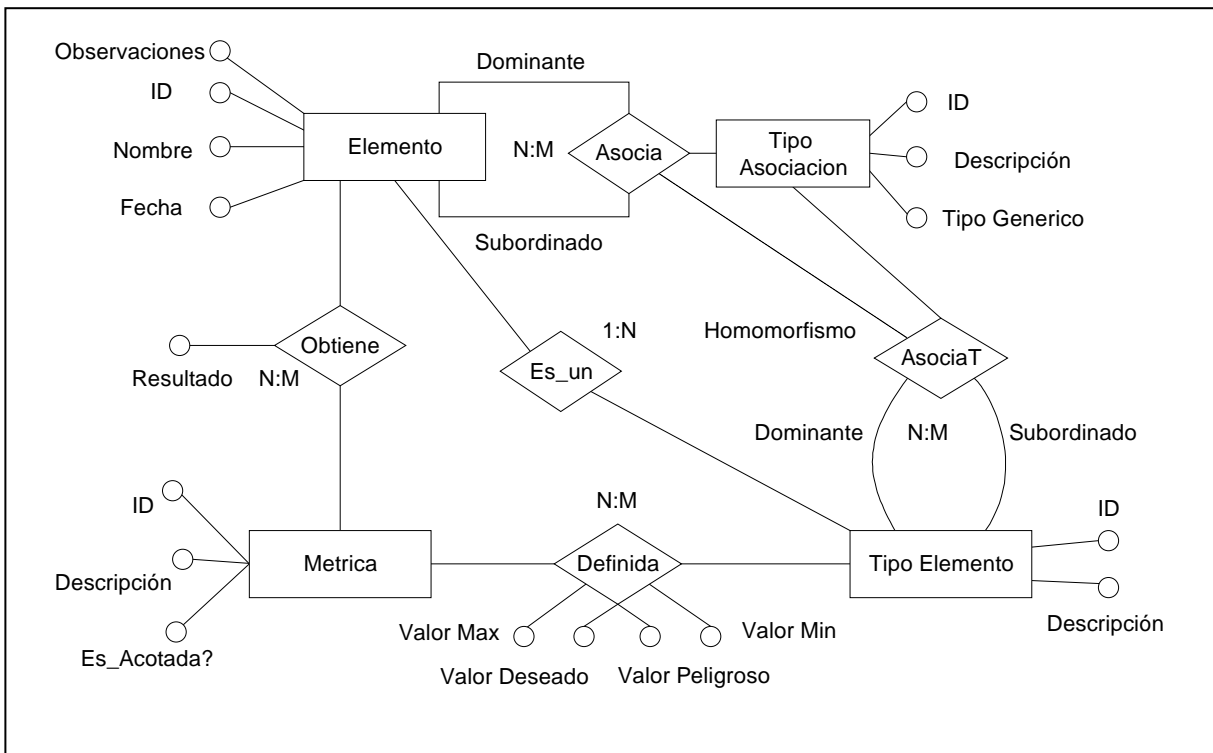


Figura 1. Diagrama E/R que representa el metamodelo de la metabase de datos

Para completar el esquema necesitamos introducir la información acerca de las métricas que aplicamos sobre cada elemento. De esta manera, los elementos obtendrán valores en las métricas que estén definidas para cada tipo de elemento.

Como se puede ver, se trata de un metamodelo sencillo, pero que representa conceptos muy abstractos y muy genéricos, lo que lo hace fácilmente aplicable a una gran variedad de modelos de datos.

La figura 2 describe el esquema relacional construido a partir del metamodelo descrito en la figura 1.

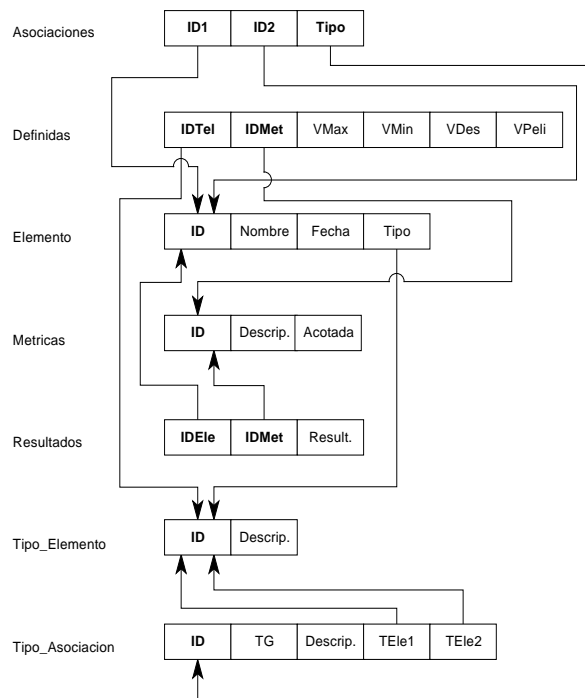


Figura 2. Esquema relacional de la metabase de datos

4.2 Arquitectura de la herramienta MANTICA

La herramienta está formada por una serie de módulos, cada uno de ellos con un cometido principal bien diferenciado. A continuación detallamos cada uno de ellos:

- Módulo de adquisición:** nos permite almacenar datos de diagramas E/R en la metabase de datos. Este módulo está, a su vez, dividido en pequeños módulos, que permitirán leer y convertir archivos que almacenan diagramas E/R diseñados en diferentes aplicaciones. En la actualidad se encuentra desarrollado el módulo que lee los diagramas E/R almacenados en archivos de Data Architect, una aplicación de modelado de datos de PowerSoft, y los almacena en la metabase de datos. También está desarrollado el módulo que nos permite la inserción manual de modelos. La arquitectura modular de la aplicación permite ir añadiendo módulos o submódulos capaces de leer archivos de otras herramientas de modelado de datos.
- Módulo de cálculo de las métricas:** permite seleccionar las métricas que queremos calcular y luego las muestra en una tabla. El cálculo se realiza mediante consultas contra la metabase de datos que nos facilitan directamente el dato buscado o nos permiten calcularlo en un proceso posterior. Realmente el módulo de cálculo de métricas es básicamente una serie de consultas SQL, junto con algún algoritmo de análisis de grafos. Los valores de las métricas calculados se almacenan en la metabase de datos, para que sean utilizados por el módulo de presentación y análisis de los datos.
- Módulo de análisis y presentación de los datos:** hace una presentación gráfica de los valores de las métricas obtenidos en el módulo de cálculo de métricas. Permite visualizar los datos obtenidos a

través de gráficos de kiviát, de barras, de sectores y de líneas. También permite hacer análisis aritméticos, como calculo de totales, porcentajes, promedios, etc...

- Otro de los parámetros que han sido tomados en cuenta para el desarrollo de esta aplicación de cálculo de métricas ha sido el que sea fácilmente configurable, para que, por ejemplo, permita marcar para las métricas, cuales son los valores críticos o deseables en función del campo específico de aplicación en el que nos encontremos.

En general, ha sido necesario un gran esfuerzo para que la aplicación final sea útil y versátil, ya que, como hemos comentado anteriormente, el trabajo teórico en el campo de la medición no será verdaderamente útil si no tenemos herramientas que nos faciliten estos cálculos.

4.3 Ejemplo de Aplicación de la Herramienta MANTICA

A continuación, figura 3, mostramos un diagrama E/R (Ruiz y Gomez-Nieto, 1997), al cual le aplicaremos la herramienta.

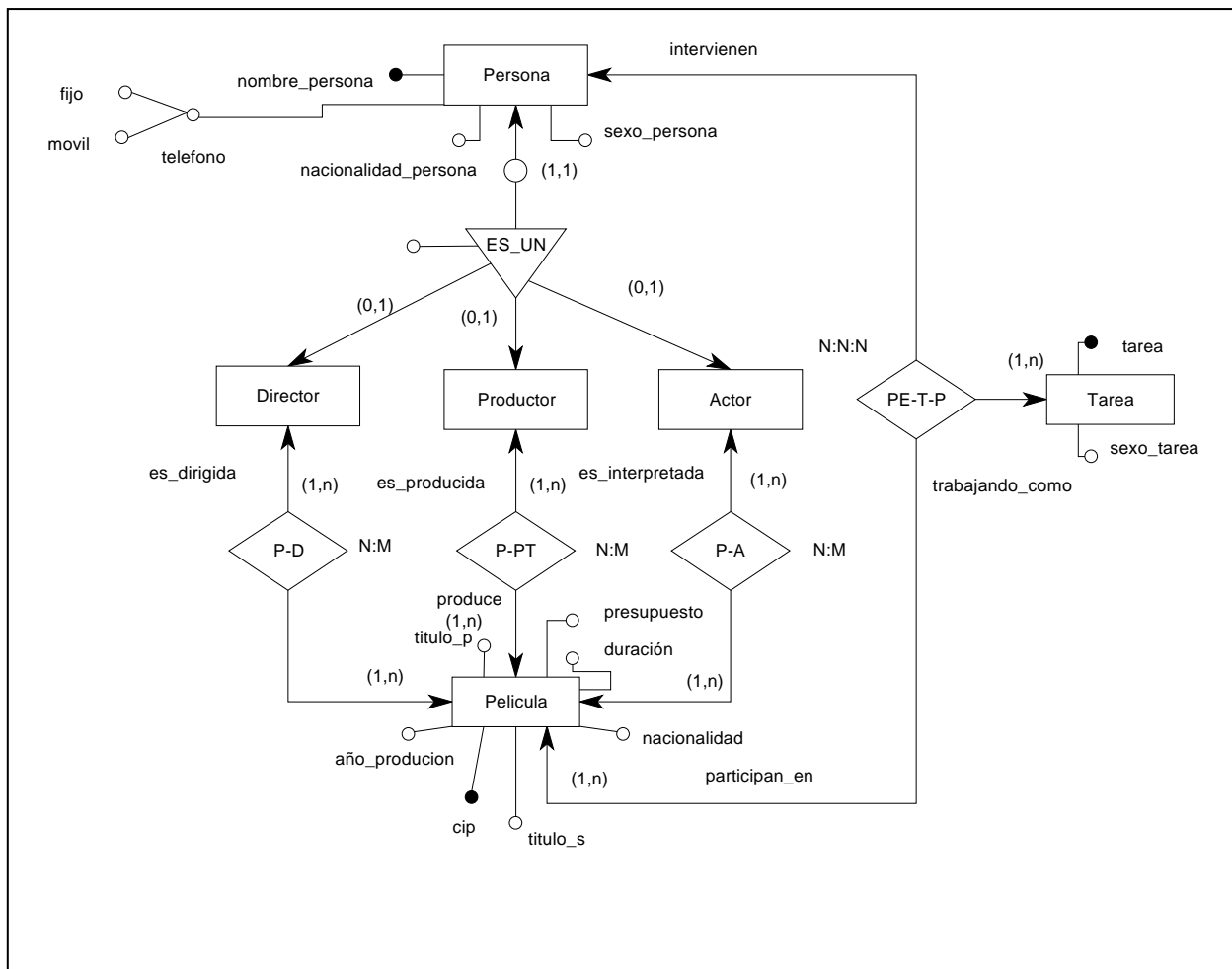


Figura 3. Ejemplo de diagrama E/R

Las tablas 1 y 2 muestran las tablas Tipo_Asociación y Tipo_Elemento de la metabase de datos. Estas dos tablas son cargadas con anterioridad a la aplicación de la herramienta a un diagrama E/R en concreto. La tabla Tipo_Asociación almacena los tipos de asociaciones permitidas entre los elementos, y la tabla Tipo_elementos almacena los tipos de elementos que pueden estar sujetos a medición.

Tipo_AsoCiacion				
ID	TG	Descripcion	TEle1	TEle2
ACA	A	Atributo que pertenece a atributo compuesto	A	CA
AE	A	Atributo que pertenece a entidad	A	E
AR	A	Atributo que pertenece a relación	A	R
CAE	A	Atributo compuesto que pertenece a una entidad	CA	E
DAE	A	Atributo derivado de una entidad	DA	E
EHRG	A	Entidad hija que pertenece a relación de generalización	E	RG
EMER	A	Entidad que pertenece a un modelo E/R	E	MER
EPRG	A	Entidad padre que pertenece a relación de generalización	E	RG
ER	A	Entidad que pertenece a relación	E	R
ERN	A	Entidad que pertenece a relación N:M	R	RNM
MAE	A	Atributo multivaluado que pertenece a una entidad	MVA	E
RGMER	A	Relación de generalización que pertenece a un modelo E/R	RG	MER
RMER	A	Relación que pertenece a un modelo E/R	R	MER
RNMER	A	Relación N:M que pertenece a un modelo	RNM	MER
RNMR	S	Relación N:M relacionada con la relación genérica	RNM	R
RRMER	A	Relación redundante que pertenece al modelo	RR	MER

Tabla 1. Tabla Tipo_AsoCiacion de la metabase de datos

Tipo_Elemento	
ID	Descripción
A	Atributo
CA	Atributo Compuesto
DA	Atributo derivado
E	Entidad
MER	Modelo Entidad Relacion
MVA	Atributo Multivaluado
R	Relación
RG	Relación de Generalización
RNM	Relación N:M
RR	Relación redundante

Tabla 2. Tabla Tipo_Elemento de la metabase de datos

Como ya hemos mencionado el módulo de adquisición de los datos, toma el diagrama E/R almacenado en un archivo de Data Architect y lo somete a un proceso de conversión, generando así la tabla Elementos (ver tabla 3) de la metabase de datos, que registra todos los elementos medibles del diagrama E/R mostrado en la figura 3, y la tabla Asociaciones (ver tabla 4) de la metabase de datos, que registra todas las asociaciones que existen entre los elementos medibles del diagrama E/R de la figura 3.

Elemento			
ID	Nombre	Fecha	Tipo
4527	Peliculas	07/07/00	MER
4528	Persona	07/07/00	E
4529	Director	07/07/00	E
4530	Productor	07/07/00	E
4531	Actor	07/07/00	E
4532	Pelicula	07/07/00	E
4533	Tarea	07/07/00	E
4534	Es Un	07/07/00	RG
4535	P-D	07/07/00	RNM
4536	P-PT	07/07/00	RNM
4537	P-A	07/07/00	RNM
4538	PE-T-P	07/07/00	RNM
4544	Telefono	07/07/00	CA
4545	Fijo	07/07/00	A
4546	Movil	07/07/00	A

4547	Nombre_persona	07/07/00	A
4548	Nacionalidad_persona	07/07/00	A
4549	Sexo_persona	07/07/00	A
4550	Tarea	07/07/00	A
4551	Sexo_tarea	07/07/00	A
4552	Cip	07/07/00	A
4553	Titulo_s	07/07/00	A
4554	Titulo_p	07/07/00	A
4555	Ano_produccion	07/07/00	A
4556	Presupuesto	07/07/00	A
4557	Nacionalidad	07/07/00	A
4558	Duracion	07/07/00	A

Tabla 3. Tabla Elementos de la metabase de datos

Asociaciones		
ID1	ID2	Tipo
4528	4527	EMER
4528	4538	ERN
4528	4534	EPRG
4529	4527	EMER
4529	4535	ERN
4529	4534	EHRG
4530	4527	EMER
4530	4536	ERN
4530	4534	EHRG
4531	4527	EMER
4531	4537	ERN
4531	4534	EHRG
4532	4527	EMER
4532	4537	ERN
4532	4535	ERN
4532	4536	ERN
4532	4538	ERN
4533	4527	EMER
4533	4538	ERN
4534	4527	RGMER
4535	4527	RNMER
4536	4527	RNMER

4537	4527	RNMER
4538	4527	RNMER
4544	4528	CAE
4545	4544	ACA
4546	4544	ACA
4547	4528	AE
4548	4528	AE
4549	4528	AE
4550	4533	AE
4551	4533	AE
4552	4532	AE
4553	4532	AE
4554	4532	AE
4555	4532	AE
4556	4532	AE
4557	4532	AE
4558	4532	AE

Tabla 4. Tabla Asociaciones de la metabase de datos

La figura 4 muestra la pantalla del módulo de cálculo de métricas, en la que se seleccionan el tipo de métricas que se quieren calcular, y muestra además, en una tabla, los resultados obtenidos.

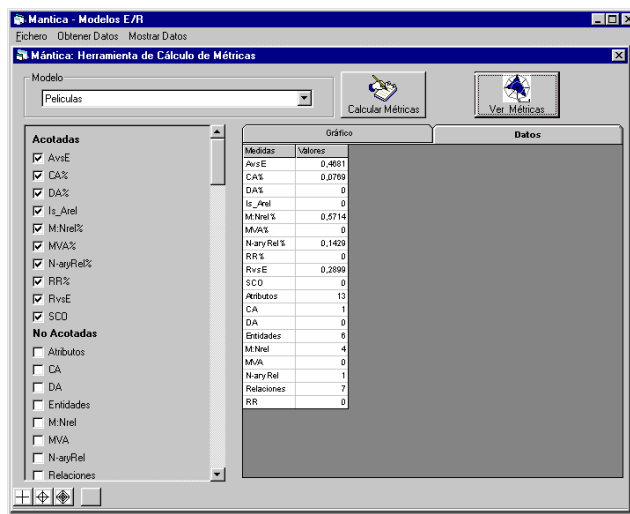


Figura 4. Pantalla del módulo cálculo de las métricas

La figura 5 muestra la pantalla del módulo de análisis y presentación de los datos, con un diagrama de kiviat que permite visualizar de forma clara y fácil de entender los valores calculados.

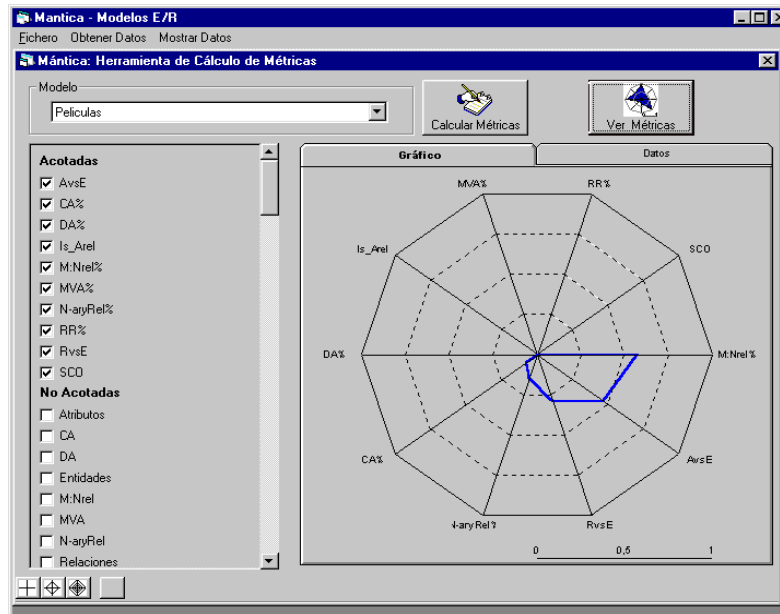


Figura 5. Pantalla del módulo de análisis y presentación de los datos

5. Conclusiones y Trabajo Futuro

Dada la importancia que tienen los modelos de datos en el desarrollo de un SI, es necesario poder evaluar su calidad utilizando métricas que no sólo estén claramente definidas sino que además estén validadas tanto de forma empírica como de forma teórica. Con este objetivo, hemos definido un conjunto de métricas que permiten medir la complejidad estructural de los diagramas E/R, ya que tal complejidad puede influir considerablemente en la calidad de los SI que serán finalmente implementados.

Pero para que las métricas sean realmente aplicables en la práctica, es necesario contar con una herramienta que permita automatizar tres tareas fundamentales: la adquisición de los datos, el cálculo de las métricas y el análisis y presentación de los resultados obtenidos. Para tal fin, hemos implementado la herramienta MANTICA. Esta herramienta está diseñada para que sea una herramienta “genérica”, es decir que no sólo sirva para medir diagramas E/R, sino también esquemas de bases de datos relacionales, objeto-relacionales y activas. La metabase de datos que hemos diseñado hace que esta herramienta sea “muy” flexible y fácilmente extensible a otros modelos de datos que puedan surgir.

Dada la gran difusión que ha tenido la orientación a objetos en el mundo del modelado de datos, creemos que es necesario definir métricas que permitan medir por ejemplo diagramas de OMT y diagramas UML, no solo teniendo en cuenta diagramas que reflejen aspectos estáticos como los diagramas de clases, sino también aspectos dinámicos como los diagramas de estados, diagramas de actividad, etc... Hemos realizado algunos trabajos de definición y validación de métricas para medir tales diagramas (Genero et al., 1999, Genero et al., 2000c) y estamos trabajando en la extensión de la herramienta MANTICA para que sea aplicable a los mismos.

Agradecimientos

Este artículo forma parte del proyecto MANTICA, soportado parcialmente por CICYT y la Unión Europea (1FD97-0168).

Referencias

- Basili, V. (1999). Using experiments to build a body of knowledge. *Conferencia impartida en la U.P.M.* Madrid.
- Batini, C., Ceri, S. y Navathe, S. (1992). *Conceptual database design. An entity relationship approach*. Benjamin Cummings Publishing Company.
- Calero, C., Piattini, M., Ruiz, F. y Polo, M. (1999) Validation of metrics for Object-Relational Databases, *International Workshop on Quantitative Approaches in Object-Oriented Software Engineering (ECOOP99)*, Lisbon (Portugal), 14-18 June
- Calero, C., Piattini, M., Genero, M., Serrano, M. and Caballero, I. (2000). Metrics for Relational Databases Maintainability, *UKAIS 2000*, Cardiff, UK, 109-119.
- Daich, G., Price, G. Dawood, M. (1995). Metrics Tools: Size. *Crosstalk*. Abril.
- Daich, G. y Giles, A. (1995). Universal Metrics Tools. *Crosstalk*. Septiembre.
- Eick, C (1991). A Methodology for the Design and Transformation of Conceptual Schemas. *Proc. of the 17th International Conference on Very Large Data Bases*. Barcelona.
- Erickson, D. y Steadmand, T. (1995). Metrics Tools: Effort and Schedule. *Crosstalk*. Marzo.
- Fenton, N. y Pfleeger, S. L. (1997). *Software Metrics: A Rigorous Approach 2nd*. edition. London, Chapman & Hall.
- Genero, M., Manso, M^a E., Piattini, M. y García, F. (1999). Assessing the Quality and the Complexity of OMT Models. *2nd European Software Measurement Conference - FESMA 99*, Amsterdam, The Netherlands, 99-109.
- Genero, M., Jiménez, L. y Piattini, M. (2000a) Measuring the Quality of Entity Relationship Diagrams. *Entity-Relationship 2000*, Salt Lake City, November.
- Genero, M., Piattini, M., Calero, C. Serrano, M. (2000b). Measures to get better quality databases. *ICEIS 2000*. Stafford, 4-7 July, 49-55.
- Genero, M., Piattini, M. and Calero, C. (2000c). Una propuesta para medir la calidad de los diagramas de clases en UML. *IDEAS 2000*. Cancún, México, 373-384.
- Giles, A. and Daich, G. (1995). Metrics Tools. *Crosstalk*. Febrero.
- Giles, A. Y Barney, D. (1995). Metrics Tools: Software Cost Estimation. *Crosstalk*. Junio.
- Gray, R., Carey, B., McGlynn, N. y Pengelly A. (1991). Design metrics for database systems. *BT Technology*, 9(4).
- Henderson-Sellers, B. (1996). *Object-Oriented Metrics*. The object-oriented Series. *Prentice Hall*.
- Kesh, S. (1995). Evaluating the Quality of Entity Relationship Models. *Information and Software Technology*, 37 (12), 681-689.
- Kingsbury, J. y Dawood, M. (1995). Metrics Tools: Quality – Defect Tracking. *Crosstalk*. Mayo.
- Kitchenham, B., Pflieger, S. and Fenton, N.: Towards a Framework for Software Measurement Validation. *IEEE Transactions of Software Engineering*, Vol. 21 Num. 12. (1995) 929-943.

- Krogstie, J., Lindland, O. y Sindre, G. (1995). Towards a Deeper Understanding of Quality in Requirements Engineering, *Proceedings of the 7th International Conference on Advanced Information Systems Engineering (CAISE)*, Jyvaskyla, Finland, June, 82-95.
- Lethbridge, T. (1998). Metrics For Concept-Oriented Knowledge bases. *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering* 8(2), 161-188.
- Lindland, O., Sindre, G. y Solvberg, A. (1994). Understanding Quality in Conceptual Modelling. *IEEE Software*, Marzo, 11 (2), 1994, 42-49.
- Lavazza, L. (2000). *Providing Automated Support for the GQM Measurement Process*. IEEE Software May/June 2000, 56-62.
- McCabe, T. (1976). A complexity measure. *IEEE Transactions on Software Engineering* , 2 (5), 308-320.
- Melton, A. (ed.) (1996). *Software Measurement*. London, International Thomson Computer Press.
- Moody, L., Shanks G. y Darke P. (1998). Improving the Quality of Entity Relationship Models – Experience in Research and Practice. *Entity Relationship 98*, Singapore, November 16-19, 255-276.
- Muller, R. (1999). *Database Design For Smarties: Using UML for Data Modeling*. Morgan Kaufman.
- Pfleeger, S.: Assessing Software Measurement. *IEEE Software*, March/April. (1997) 477-482.
- Reingruber, M. y Gregory, W. (1994): *The Data Modelling Handbook. A best-practice approach to building quality data models*. John Wiley & Sons, Inc.
- Ruiz, I. y Gómez-Nieto, M. (1997). *Diseño y uso de Bases de Datos Relacionales*. Ra-Ma.
- Rumbaugh, J., Blaha M., Premerlani, W., Eddy, F. y Lorensen, W. (1991). *Object- Oriented Modeling and Design*. Prentice Hall. USA.
- Schuette, R. y Rotthowe, T. (1998). The Guidelines of Modeling – An Approach to Enhance the Quality in Information Models. *Entity Relationship 98*, Singapore, November 16-19, 240-254.
- Software Measurement Laboratory (2000). <http://ivs.cs.uni-magdeburg.de/sw-eng/us/>