

# Restricciones de Integridad Referencial y Dependencias de Inclusión: Claves para el Enriquecimiento Semántico de una Base de Datos

Viviana E. Ferraggine<sup>(1)</sup>  
*vferra@exa.unicen.edu.ar*

Jorge H. Doorn<sup>(1)</sup>  
*jdoorn@exa.unicen.edu.ar*

Laura C. Rivero<sup>(1)(2)</sup>  
*lrivero@exa.unicen.edu.ar*

<sup>(1)</sup>INTIA, Fac. de Ciencias Exactas, Universidad Nacional del Centro de la Pcia.de Bs.As., Tandil, Bs.As., Argentina

<sup>(2)</sup>LINTI, Fac. de Informática, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Buenos Aires, Argentina

## Introducción

Una de las fuerzas que estimuló el desarrollo de la tecnología de bases de datos fue la necesidad de garantizar la consistencia de los datos almacenados. A medida que estos artefactos de software evolucionaron, se tendió a soportar un mayor contenido semántico de los datos, es decir que se incorporaron facilidades para representar objetos más complejos y mayor variedad de propiedades. Sin embargo, los DBMSs tradicionales proveen recursos limitados para expresarlas. Paralelamente, la adquisición de las propiedades de los datos a partir del Universo del Discurso (UdeD) se tornó también más compleja dando origen a novedosas áreas de desarrollo. Como consecuencia del enriquecimiento en la carga semántica de los datos surge la posibilidad de expresar variadas y valiosas conexiones entre los mismos. Por lo tanto, resulta imperativo contribuir en la identificación de las propiedades de los objetos del mundo real y sus relaciones con el objetivo de facilitar su representación fidedigna en el mundo de la base de datos, y fundamentalmente de constituir las bases de una documentación que permita su validación. Este proyecto tiene como objetivo el estudio de las relaciones como elementos que juegan un rol fundamental tanto en el UdeD como en el modelado, refinamiento y reingeniería de bases de datos.

## Rediseño de Esquemas Relacionales

El modelado conceptual es la fase inicial y por ende fundamental en el diseño de una base de datos. En esta etapa los requerimientos de información del usuario, principalmente los objetos y las conexiones entre ellos se representan apropiadamente, en el caso de bases de datos relacionales generalmente en alguna de las extensiones del muy difundido Modelo de Entidades y Relaciones (MER) (Chen, 1976). Las dependencias de inclusión (DI) constituyen uno de los conceptos fundamentales en el diseño de bases de datos. Una DI se define como la existencia de atributos (simples o compuestos) en una tabla, cuyos valores deben ser un subconjunto de los valores de atributos compatibles (simples o compuestos respectivamente) en otra tabla. Cuando estos últimos constituyen la clave primaria de la tabla, la DI es basada-en-clave y se denomina habitualmente restricción de integridad referencial (RIR). Por el contrario, si es un atributo o conjunto de ellos cualquiera, la DI es no-basada-en-clave o pura.

A partir de su especificación original, la evolución natural del sistema modelado conduce a modificaciones del esquema, que frecuentemente no son debidamente respaldadas por la documentación correspondiente. En estos sistemas, la comprensión de los datos se ha perdido parcial o totalmente o bien no refleja el UdeD actual, restringiendo por esta razón el uso efectivo que la organización puede hacer de su información. En otras circunstancias algunas dependencias han sido detectadas o previstas en estadios tempranos del diseño pero luego fueron incorrectamente representadas. Por esta razón, el producto final a menudo resulta inadecuado para las aplicaciones requeridas, y es difícil de mantener puesto que generalmente está indebidamente documentado. Por la potencial inconsistencia de los datos, se requiere un esfuerzo mayor para desarrollar programas de aplicación y mantener la integridad, que en estas situaciones anómalas se vuelve una responsabilidad del programador de aplicaciones.

Por otra parte, en aplicaciones reales es frecuente que los usuarios especifiquen el esquema dentro del modelo relacional convencional, es decir, usando tablas que no se encuentran en la forma normal más apropiada (idealmente FNBC). Este escenario es muy común y puede ocurrir como consecuencia de la división o unión de tablas debido a requerimientos de las aplicaciones que se imponen a las ventajas de una normalización apropiada; un pobre análisis o diseño; diseñadores inexpertos; o bien debido a decisiones tomadas usualmente en las fases finales del diseño lógico.

Las RIRs surgen naturalmente en el proceso de normalización u obtención de un esquema lógico basado en un modelo semántico, generalmente el MER o alguna de sus extensiones. Las dependencias puras y algunas RIRs atípicas, aparecen por otros factores.

Un tercer factor que promueve la aparición de referencias atípicas es la transformación de relaciones n-arias en esquemas relacionales. Este es un tema que requiere un análisis muy profundo puesto que no siempre es posible encontrar un conjunto de relaciones equivalentes. Para que tal equivalencia sea real, el esquema relacional resultante debe ser estructural y semánticamente equivalente al original. La equivalencia estructural implica que la conversión es sin pérdida. La equivalencia semántica denota que el esquema transformado preserva las dependencias funcionales, hecho que sumado a la propiedad de transformación sin pérdida garantiza que se preserve el conjunto específico de instancias durante la transformación o reconstrucción. Estos aspectos constituyen la perspectiva estática del problema. Para completar la equivalencia deben considerarse conjuntamente los aspectos dinámicos, es decir, la habilidad del esquema transformado para manejar en forma equivalente las operaciones de actualización. Esta transformación es compleja y requiere en algunos casos la especificación de DIs, y aún de restricciones más complejas que de alguna forma adoptan la semántica de la inclusión, para garantizar la equivalencia estructural y dinámica de ambas representaciones.

Los factores que pueden “fabricar” estas dependencias en la base de datos pueden obtenerse efectuando un rastreo en sentido retrospectivo desde el esquema de la base de datos hacia el UdeD. El objetivo de esta inspección consiste en descubrir los conceptos o ideas que encierra la dependencia para reconstruir, mediante la asistencia del diseñador, el procedimiento o transformación que la generó.

De la inspección profunda del UdeD correspondiente a un conjunto razonable de casos reales, se ha observado que es difícil, si no imposible, detectar fehacientemente el tipo de vínculo semántico que justificaría la aparición de DIs en el mundo de la base de datos. Lo mismo ocurre con ciertos casos atípicos de RIRs. Sin embargo, luego de la observación de los esquemas reales se ha comprobado que estas construcciones semánticas aparecen con frecuencia.

Cuando los sistemas no cumplimentan los requisitos de calidad esperados es necesaria su reingeniería. Traducir el esquema de una base de datos de un modelo en otro con mayor capacidad semántica es un tema de investigación actual, con aplicación en varias áreas de desarrollo, por ejemplo: migración de sistemas ‘legacy’ y de sistemas relacionales a otros DBMSs, integración de sistemas en ambientes de interoperabilidad y documentación del significado de bases de datos existentes. Cuando se tratan problemas de migración de datos, reingeniería e integración de sistemas de bases de datos, la idea básica consiste en capturar la semántica de los datos recuperándola de los esquemas, documentación y software disponibles. (Casanova et al., 1989), (Castellanos, 1993), (Johannesson, 1994), (Rivero et al., 2001, 2002), (Dey et al., 1999), (Levene y Vincent, 2000), (Jones et al., 2000).

Un esquema de base de datos con las deficiencias mencionadas puede ser restaurado y llevado a un estado bien definido, a partir del cual se pueda trabajar con las herramientas, métodos y heurísticas convenientes. El estudio de los orígenes de las DIs y de los casos atípicos de restricciones basadas en claves, juntamente con la investigación de estrategias para su remoción y/o tratamiento, resultan un aporte a la transformación de esquemas incorrectos y difíciles de mantener, en esquemas normalizados.

Una vez detectado el origen de las DIs y RIRs atípicas, sería posible aplicar mecanismos semiformales para efectuar la conversión del esquema. Este objetivo se logra a través del análisis de la naturaleza y origen de las dependencias puras y de la identificación de otros vínculos ocultos con una semántica específica del UdeD (reglas del negocio). Los resultados de este análisis pueden volcarse en el proceso de conversión.

Un mecanismo de conversión está destinado a obtener una correspondencia 1-1 entre tipos de objetos y esquemas de relaciones facilitando la conexión y rastreo de las nociones involucradas en ambos mundos, el real (UdeD) y el de la base de datos. De esta forma, el proceso de conversión está guiado por las siguientes preguntas: a) qué concepto del UdeD representa el objeto referenciado?; b) cuál es la representación apropiada del mismo?; c) cuál es la manera correcta de representar las relaciones con este objeto?; d) hay algún atributo o conjunto de ellos en la clase referenciada que tenga una dependencia semántica sólo respecto del objeto referenciado?; e) cuál es el significado de la inclusión relacionada con el objeto de referencia?. Este proceso debe utilizar un método fundamentado en la sintaxis de cada caso, ya que la necesaria interacción con el usuario proveerá los aspectos semánticos que permitan decidir los pasos a seguir en la reconstrucción.

Este estudio resulta demasiado complejo si no se establece previamente un marco de referencia que permita la categorización de las dependencias en diferentes clases. La estrategia aquí es que la metodología en estudio conste de dos etapas. La primera de ellas destinada a la clasificación de relaciones y la segunda a la aplicación de un conjunto de reglas que permitan generar las construcciones del esquema enriquecido. Las relaciones clasificadas se analizarán según el grado de correlación entre claves primarias y extranjeras.

Con el objeto de formalizar este marco de referencia, se han estudiado las dependencias en forma exhaustiva, inicialmente desde un punto de vista sintáctico para determinar posteriormente, en un proceso reconstructivo, la semántica subyacente a cada caso. Este análisis permitió determinar el origen de aquéllas que no son basadas en claves y de aquéllas que, con la apariencia de RIRs, no provienen de un diseño normalizado.

Para las primeras se está analizando una heurística que permita rediseñar el esquema conceptual, teniendo como fundamento la identificación de reglas del negocio ocultas y la conversión de las dependencias en RIRs equivalentes, manteniendo la misma capacidad de información. La inferencia de las acciones referenciales de las restricciones inicialmente especificadas, en las correspondientes al esquema mejorado, se está desarrollando con énfasis en las acciones locales de reparación y en la preservación de la semántica global. Para las segundas se ha completado la clasificación de casos y se ha desarrollado una propuesta de conversión.

## **Análisis y optimización del esquema resultante**

Como es sabido, a todos los inconvenientes derivados de diseños inapropiados o de estructuras de la realidad muy complejas se le suman aquellos originados en las limitaciones del paradigma utilizado o del motor de la base de datos. Estos últimos deben ser considerados circunstanciales en oposición a los primeros que son esenciales al problema.

En el contexto de una base de datos relacional la definición de un conjunto de RIRs con acciones referenciales coexistiendo con restricciones de nulidad, puede dar lugar a comportamientos impredecibles. Esto ocurre porque: a) en el plano estático el esquema definido presenta conflictos, b) el estándar SQL3 no provee un conjunto completo de definiciones de acciones referenciales para operaciones que involucran RIRs, c) para las tablas referenciada y referenciante, los sistemas de bases de datos SQL actuales no adhieren a la totalidad de las características establecidas por el estándar SQL3 y finalmente d) es difícil describir en SQL3 la semántica global de un conjunto de acciones referenciales, basándose en su semántica local. En algunos DBMS la definición de RIRs en forma declarativa está restringida a los casos no conflictivos. A esto debe sumarse que su comportamiento varía de un DBMS a otro, comprometiendo su portabilidad.

En el plano abstracto o genérico, los problemas existentes en las redes de RIRs son bien conocidos y han sido desarrollados en numerosos artículos en relación con algunos aspectos de ellos (Casanova y Tucherman, 1988), (Casanova et al., 1989), (Markowitz, 1994), (Reinert, 1996), (Rivero et al, 2000).

Si el análisis estático de un esquema conceptual determina que éste es pasible de arrojar resultados impredecibles cuando se somete a una o más actualizaciones, muy probablemente en el mundo real exista un conjunto de propiedades en las que se oculta la preeminencia de una propiedad sobre la otra, esta preeminencia no llegó al modelo de datos, por lo que debe retornarse al UdeD, capturarla y modelarla. Las preeminencias entre propiedades se modelan en el mundo de las bases de datos mediante el orden en el que las restricciones deben ser forzadas.

Una forma de resolver el problema consiste en la asignación de un orden explícito que pueda ser seguido en la activación de las restricciones. Esta es una estrategia relativamente conocida y utilizada, aunque conlleva un problema conceptual puesto que se impone una característica procedural no siempre presente en el UdeD.

En SQL-DBMSs debe considerarse además el orden en el que los distintos mecanismos disponibles tales como los chequeos, las restricciones referenciales, los triggers y los stored procedures se ejecutan (Ceri et al., 2000). SQL3 ha definido un orden preciso de ejecución y alcance de sus cláusulas, pero no todos los productos disponibles adhieren al mismo. El modelo que integra la ejecución de triggers con la evaluación de restricciones declarativas en sistemas de bases de datos SQL se analiza en (Cochrane et al., 1996) y en (Türker y Gertz, 2000). El uso de herramientas de soporte al modelado puede generar automáticamente restricciones en un orden no deseado, complicando aún más la interpretación del resultado obtenido luego de una actualización.

Otra alternativa de resolución al problema, es la generación de triggers en los que se codifican secuencias de diferentes acciones para forzar ese orden. Si bien en casos sencillos esto último puede ser útil, es especialmente desaconsejable para resolver el problema debido a que un único trigger debería contener la secuencia de acciones para todos los caminos referenciales involucrados, los cuales, a su vez constan de varios tramos, cada uno con su propia acción referencial.

En el presente proyecto se analiza como integrar los aspectos esenciales de los imperativos de preeminencia de restricciones que provienen de la realidad, con las posibilidades que brindan los DBMSs disponibles. En este sentido se aspira a detectar las fuentes de conflicto en tiempo de diseño conceptual mediante el enriquecimiento del prototipo desarrollado en etapas previas de este proyecto. Éste permite el análisis de los inconvenientes producidos por las actualizaciones en bases de datos cuyos esquemas conceptuales promueven ambigüedades semánticas a escala global, aunque las acciones referenciales sean correctas localmente.

Para analizar un esquema relacional conflictivo a la luz de una implementación en un DBMS en particular es necesario especificar el esquema relacional formalmente para luego aplicar un algoritmo que depure los caminos referenciales redundantes y permita detectar la presencia de caminos que manifiesten problemas de indeterminismo. Se ha encarado un estudio para la caracterización completa de estos problemas bajo un modelo teórico declarativo de la semántica global de las acciones referenciales.

## **Grado de avance**

De las dos etapas mencionadas más arriba, la primera se encuentra terminada y se está trabajando en la especificación de una herramienta interactiva que asista al usuario en la reingeniería local de esquemas relacionales, convirtiéndolos en esquemas conceptuales. El paradigma en que se desarrolla este proyecto se enmarca en el modelo relacional, pero la propuesta puede aplicarse, con los ajustes necesarios, al enriquecimiento de esquemas en modelos orientados a objetos.

Al mismo tiempo, el producto obtenido de esta primera reconstrucción puede ser refinado

mediante dos procesos adicionales: la detección y eliminación de redundancias y, a través del análisis estático del esquema resultante, la identificación de puntos de conflicto potencial al ejecutar las acciones referenciales iniciadas por operaciones de actualización. La comprensión de la semántica global de este comportamiento permitirá mejorar el prototipo disponible a la vez que servirá como base para el análisis de la interacción entre referencias y otro tipo de restricciones.

## Referencias

- Chen, P.P., *The Entity-relationship Model: Toward a Unified View of Data*. ACM Trans. on Database Systems. Vol.1, No.1. pp. 9-36., 1976
- Casanova, M., Tucherman, L., Furtado, A., Braga, A.: *Optimization of Relational Schemes Containing Inclusion Dependencies*. Proc. 15th VLDB Conf. Amsterdam, pp 317-325, 1989.
- Casanova, M., Tucherman, L. , *Enforcing Inclusion Dependencies and Referential Integrity*. Proceedings 14th. VLDB Conference. L.A. California, 1988.
- Castellanos, M.G.: *A Methodology for Semantically Enriching Interoperable Databases*. Proceedings 11th British National Conference on Databases, Keele, 1993.
- Ceri, S., Cochrane, R. y Widom, J, *Practical Applications of Triggers and Constraints: Successes and Lingering Issues*. Proceedings 26th VLDB Conference, Egypt, 2000.
- Cochrane, R., Pirahesh, H. y Mattos, N., *Integrating Triggers and Declarative Constraints in SQL Database Systems*. Proceedings 22th VLDB Conference. Mumbai India, pp.123-132, 1996.
- Dey, D., Storey, C., Barron, T. *Improving Database Design through the Analysis of Relationships*. ACM TODS, Vol. 24, No. 4, pp. 453-486, 1999.
- Johannesson, P.: *A Method for Transforming Relational Schemas into Conceptual Schemas*. IEEE Trans. on Software Eng, pp. 190-201, 1994.
- Jones, T., Song, I-Y. *Binary Equivalents of Ternary Relationships in Entity-Relationship Modeling: a Logical Decomposition Approach*. Journal Database Management, Abril-Junio, pp. 12-19, 2000.
- Levene, M., Vincent, M.: *Justification for Inclusion Dependency Normal Form*. IEEE TKDE Vol. 12, No. 2. Marzo-Abril, pp. 281-291, 2000.
- Markowitz, V. *Safe Referential Integrity and Null Constraint Structures in Relational Databases*. Information Systems, 1994.
- Reinert, J *Ambiguity for Referential Integrity is Undecidable*. En Constraint Databases and Applications. LNCS 1034. Springer. pp. 132-147. 1996.
- Rivero, L.C., Doorn, J.H., Loureiro, D., *Static Detection of Source of Dynamic Anomalies in a Network of Referential Integrity Restrictions*. Proc. ACM Symposium on Applied Computing. Italia, pp 333-339. 2000.
- Rivero, L.C., Doorn J.H., Ferraggine, V.E., *Chapter 9: Inclusion Dependencies*. En Developing Quality Complex Database Systems: Practices, Techniques and Technologies, Idea Group Publishing, Dr.Shirley Becker, editor. 2001.
- Rivero, L., Doorn, J., Ferraggine, V.: *Elicitation and Conversion of Hidden Objects and Restrictions in a Database Schema*. Proc. ACM Symposium on Applied Computing, Madrid, España, pp. 463-469, 2002.
- Türker, C., Gertz, M., *Semantic Integrity Support in SQL-99 and Commercial (Object-) Relational Database Management Systems*. 2000. En <http://www.db.cs.ucdavis.edu/papers/TG00.ps>