El proyecto BLOOM de investigación en Sistemas de Gestión de Bases de Datos

FBenet Campderrich , Marta Oliva , Elena Rodríguez

Larson ([SL90]) podemos clasificar, según el grado de autonomía, los SGBDFs en:

- *Débilmente acoplados*, cuando es responsabilidad propia de cada usuario crear y mantener la federación y no existe ningún tipo de control desde el sistema federado ni de su(s) administrador(es). Estos sistemas también se conocen como *sistemas de bases de datos interoperables* y/o *sistemas multibase de datos*.
- *Fuertemente acoplados*, cuando la federación y su(s) administrador(es) son responsables de la creación y el mantenimiento de la misma y participan activamente en el control de acceso de las BDCs. Un sistema federado fuertemente acoplado puede ser de dos tipos:
  - Con *federación única*, si permite la creación y gestión de un único *esquema federado*.
  - Con *múltiples federaciones*, si permite la creación y gestión de múltiples esquemas federados.

Para conseguir el *acceso integrado* a un SGBDF *fuertemente acoplado* con *múltiples federaciones* (punto en el cual se centran nuestras investigaciones) distinguiremos dos fases claramendiferenciadas: la *fas*

(ver figura 1). Cada una de estas fases presenta problemas a resolver:

- Fase de construcci– Superar las *diferencias de modelo de datos* (heterogeneidad sintáctica) y de *seguridad*,

  adoptando un *modelo de datos común* (ver sección 2) y un *modelo de seguridad común* (ver sección 8).
  - Enriquecer semánticamente el esquema de datos de cada BDC, convirtiéndolo en una *base de conocimientos* (ver sección 2), e incorporar *información de su comportamiento* (ver sección 6) y de su *especificación de seguridad* (ver sección 8).
  - Crear *lenguajes* para el *acceso integrado* (ver sección 4) y *mecanismos de vistas* (ver sección 3).
  - Superar las *heterogeneidades semánticas* de las bases de conocimientos y proceder a su *integración* (ver sección 5).
  - Clasificar, especificar e implementar las *interdependencias* entre las BDCs si las hubiese (ver sección 7).
- Fase de operación:
  - Procesar las *consultas* al conjunto de BDCs que interoperan, incluyendo el *control de acceso* (ver sección 8), la *descomposición de la consulta en subconsultas*, *transformaciones entre lenguajes* (ver sección 4), y *combinación de subresultados*, así como las interdependencias que pudiesen existir.
  - Gestionar las *transacciones* (ver sección 9) del SGBDF (*control de concurrencia* y de *recuperación*).

1.2 Antecedentes

El grupo de investigación en Sistemas de Gestión de Bases de Datos Federadas se formó en 1988, dentro de la sección SI (Sistemes d'Informació) del departamento LSI (Llenguatges i Sistemes Informàtics) de la UPC (Univ. Politècnica de Catalunya). Inicialmente lo componían Fèlix Saltor, Jaume Sistac, Malú Castellanos y Manuel García-Solaco. Pasó a ser conocido internacionalmente por las dos comunicaciones aceptadas por el 1st IEEE-CS Int. Workshop on Interoperability in Multidatabase Systems (IMS'91). Posteriormente ha publicado másde22 artículos, capítulos de libros y comunicaciones con proceso de revisión (ver algunas en referencias y lista completa en ftp://ftp-lsi.upc.es/papers-bloom/references.txt).

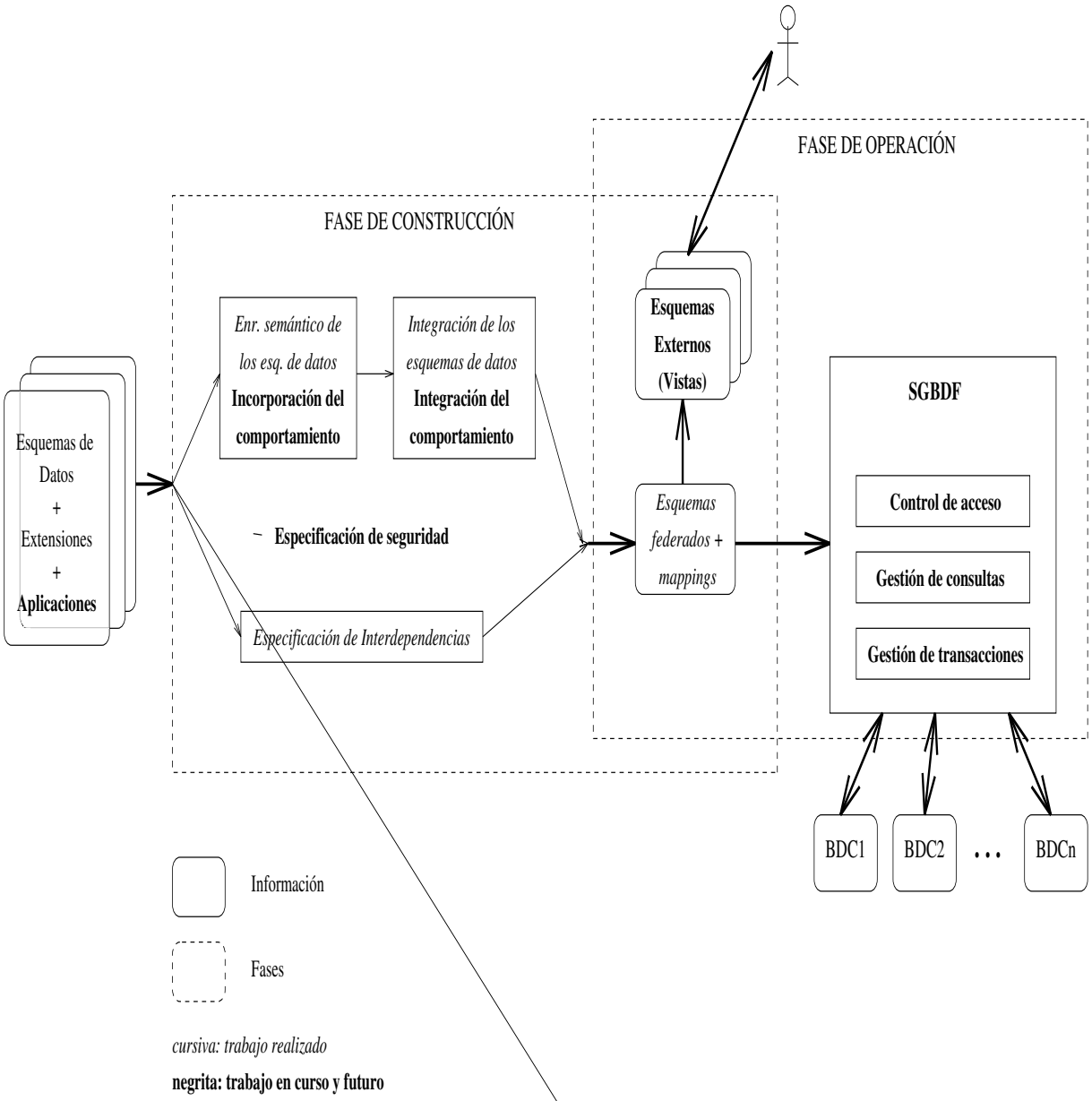

Figura 1: Fases para la obtención del acceso integrado

Se han realizado dentro del grupo las tesis doctorales de M. Castellanos [Cas93] y de M. García-Solaco [GS94] y actualmente hay tres tesis en curso de realización.

Se ha obtenido financiación del programa PRONTIC de la CICYT (TIC89/0303 y TIC93-0436). Se ha participado en el proyecto europeo IHIS (Interoperability of Heterogeneous Information Systems) Extension. Se ha colaborado con la Univ. de Viena (A), en el marco del convenio hispano-austríaco de cooperación científica. Se han tenido o se tienen Acciones Integradas con la Technische Hochschule Darmstadt (D) -prof. Buchmann-, y con la Technische Universität Wien (A) -prof. Tjoa-. Nuestro grupo es miembro de la ERCIM Database Network, financiada por el programa europeo HCM. Ha sido uno de los seis grupos europeos seleccionados por HP Labs (California) y HP Europe en su programa HP European Database Initiative.

Hemos tenido colaboraciones más o menos permanentes con los grupos de: C. Costilla (ETSITM-UPM), A. Illarramendi (DIF/FISS-EHU/UPV), E. Neuhold (GMD(D)), G. Gardarin (INRIA & U. Versailles (F)), A. Sheth (Bellcore y luego U. Georgia (USA)), W. Litwin

(U. Paris Dauphine (F)), U. Dayal (HP Labs (USA)), A. Elmagarmid (Purdue U. (USA)), y otros.

En 1993 se incorporó al grupo JoséSamos. Posteriormente se han integrado Elena Rodríguez y Luís Carlos Rodríguez, de la UPC, así como Benet Campderrich (Univ. Rovira i Virgili, Tarragona) y Marta Oliva (Univ. de Lleida), y lo han dejado M. Castellanos y M. García-Solaco.

2 Modelo BLOOM y enriquecimiento semántico

El primer paso para conseguir el acceso integrado es convertir los esquemas conceptuales de las BDCs (semánticamente pobres) a un esquema semánticamente rico expresado en un *modelo canónico* (en nuestro caso BLOOM), a través de un proceso de *enriquecimiento semántico*.

BLOOM (BarceLona Object Oriented Model) [CSGS94a] fue diseñado específicamente para ser usado como modelo canónico de datos y satisface todas las características deseables para entornos federados [SCGS91]. BLOOM no sólo distingue claramente entre las dimensiones de *clasificación/instanciación*, *generalización/especialización* y *agregación/descomposición*, sino que va más allá, distinguiendo *diferentes tipos de abstracción en cada dimensión*.

Se ha desarrollado una *metodología de enriquecimiento semántico* ([Cas93], [CSGS94b]) que comprende dos pasos:

- *Paso de adquisición del conocimiento*, donde se descubre la semántica implícita en forma de diferentes tipos de restricciones (claves y dependencias), analizando el esquema conceptual y la extensión de cada BDC.
- *Paso de conversión*, donde el esquema aumentado con la semántica obtenida en la primera paso se transforma en una representación BLOOM enriquecida.

Se ha desarrollado un prototipo que implementa los algoritmos para la extracción del conocimiento semántico (paso 1) y los algoritmos que contienen las reglas de correspondencia para la transformación de los esquemas a BLOOM (paso 2).

3 Mecanismo de vistas

Una *vista* es una abstracción simplificadora de una estructura compleja. El concepto de vista en Bases de Datos Orientadas a Objetos (BDOO) se usa principalmente con dos significados: como *clase*, para referirse a las clases derivadas a partir de un conjunto de clases base; y como *esquema* de base de datos, con un significado próximo al de esquema de nivel externo en la arquitectura de tres niveles (Esquema Interno, Esquema Conceptual, Esquemas Externos) propuesta por el grupo ANSI/X3/SPARC.

La posibilidad de definir esquemas externos en BDOOs permite ofrecer a los usuarios finales esquemas adaptados a sus necesidades específicas de información. Los esquemas externos son distintas representaciones del esquema conceptual de la base de datos, es decir, implementan el concepto de *relativismo semántico* a nivel esquema.

Se está trabajando en la especificación de una metodología de definición de esquemas externos [Sam95] en la cual éstos pueden contener clases base definidas inicialmente en el esquema conceptual, así como también clases derivadas. Uno de los problemas de la definición de clases derivadas es el de la *integración* de éstas en la jerarquía de las clases existentes; en algunos casos, para realizar esta integración es necesario generar clases auxiliares. La metodología que

proponemos soluciona el problema de integración reduciendo la cantidad de clases auxiliares necesarias respecto a metodologías anteriores.

Por otra parte, en lo que respecta a la definición de clases derivadas, estudiamos los problemas de *generación de nuevos objetos* así como de la *transmisión de modificaciones* entre los objetos de las clases base y los de las clases derivadas.

5 Integración de esquemas basada en la estructura

El proceso de construcción del SGBDF desarrollado por [GS94] sigue un enfoque de *integración de esquemas*. Consiste básicamente en integrar los esquemas de las BDCs bajo un *esquema*

4 Definición e implementación de lenguajes

Para el proyecto hace falta por lo menos un lenguaje de consultas orientado a objetos para dos usos: como lenguaje disponible para algunos de los usuarios del sistema, y como lenguaje intermedio (lenguaje *pivote*) al que se traducirán las consultas o subconsultas en determinadas fases del proceso de las consultas.

El lenguaje que se está desarrollando es de tipo declarativo y muchas de sus instrucciones tienen la forma de nuevas modalidades y variantes de la operación de agregación, con lo que aparece como una extensión del modelo BLOOM más que como un lenguaje simple implemente basado en dicho modelo; muchas de estas instrucciones pueden ser utilizadas tanto para definir aspectos permanentes de la base de datos como para la generación de resultados de consultas. La especificación de la sintaxis y la semántica del lenguaje se hará mediante técnicas formales. implementación tendr

federado (o varios) que funcione como una visión unificadora de todas las BDCs y en el cual se solucionen las heterogeneidades semánticas, analizadas en [GSCS96].

El proceso de integración se fundamenta en la *estructura* a lo largo de la dimensión de *generalización/especialización* y de la dimensión de *agregación/descomposición* de los esquemas componentes previamente enriquecidos y expresados en el modelo BLOOM. Al igual que en los procesos tradicionales de integración de esquemas éste se divide en dos pasos: el paso de *detección de conflictos semánticos* y un paso posterior de *resolución*.

El paso de detección realiza un proceso de comparación entre clases de objetos siguiendo una *estrategia* que guía el proceso decidiendo qué objetos serán comparados en cada momento, y un *criterio* que determina el grado de similaridad.

La estrategia [GSSC95] opera a dos niveles: la *estrategia a nivel grueso* identifica pares de especializaciones a comparar tomando en cuenta la dimensión de generalización, la *estrategia a nivel fino* identifica pares de clases a comparar basándose en la dimensión de agregación. En caso que no existan abstracciones similares en los objetos comparados se aplican relajaciones a las abstracciones con el fin de hacerlas similares. Cada relajación implica futuras penalizaciones en el cálculo del grado de similaridad.

El paso de resolución utiliza una *generalización discriminada* que preserva toda la información y soporta múltiples semánticas.

El uso de las abstracciones del modelo BLOOM hace posible eliminar muchas comparaciones inútiles además de identificar las más prometedoras, en contraste con los métodos basados en atributos donde no se fijan criterios para identificar previamente los pares de clases a comparar [GSCS96].

6 Incorporación del comportamiento en la fase de construcción

el problema más difícil de superar. Hasta la fecha, la detección de conflictos entre objetos Durante la fase de construcción del SGBDF la detección de *conflictos semánticos* representa

semánticamente relacionados ha sido realizada a través de un proceso de comparación de la la complejidad computacional del proceso y mejorar el cálculo de similaridad entre objetos, información estática (estructural) incorporada en los esquemas de las BDCs, sin tener en cuenta pero usando un enfoque más abstracto. El método propuesto por [Thi95] afronta el proceso información de carácter dinámico de los objetos modelados.

Nuestro trabajo de investigación en esta línea consiste en diseñar un método de detección de conflictos semánticos que extienda los trabajos existentes en integración de esquemas, en especial los trabajos desarrollados por [Cas93] y [GS94]. La idea fundamental es incorporar piezas de información adicional a los esquemas componentes en forma de *comportamiento de objetos*, que ayuden a detectar similaridades entre conceptos de diferentes esquemas de modo que las tareas de comparación y de integración se faciliten y puedan ser parcialmente automatizadas.

La información dinámica añadida en forma de comportamiento aportará un contenido semántico superior al que se tendría si se usase un enfoque transaccional con bloques que reúnen operaciones básicas (inserción, borrado y modificación) sobre las BDs. En este sentido, los modelos OO soportan de forma integrada las características estructurales y dinámicas de los objetos (en forma de métodos). El modelo OO de referencia será el modelo BLOOM, el cual

7 Interdependencias

deberá ser extendido para que dé soporte al componente del comportamiento.

El trabajo seguirá la línea de investigación iniciada por [Thi95]. Al igual que [Thi95], se tomarán en cuenta *propiedades semánticas* y *sintácticas de los métodos* con el fin de reducir

de detección de conflictos semánticos a través del estudio de la estructura interna de entidades simples (tipos subyacentes de los objetos y formas funcionales de los métodos), en lugar de razonar previamente sobre colecciones de entidades y posteriormente profundizar en el estudio de su estructura.

La incorporación del comportamiento de los objetos plantea nuevos problemas al proceso general de construcción de los esquemas federados, debido principalmente a que la información referente al comportamiento se encontrará generalmente en el *código fuente* de las aplicaciones que operan sobre los SGBD componentes y no en los esquemas de datos. Esto quiere decir que será necesario extender el proceso de enriquecimiento semántico de los esquemas componentes al mundo de las aplicaciones.

Generalmente las BDCs que participan en una federación representan partes *comunes* o *solapadas* del mundo real. Por lo tanto, además del modelado de conceptos comunes, podemos encontrar ocurrencias de datos que estarán especificadas/contenidas en varios sistemas componentes. Cuando algunos datos en una BDC dependen de otros datos almacenados en otra BDC se dice que éstos son *interdependientes* y es necesario un *mecanismo específico* que mantenga la *consistencia* entre estos datos a nivel federado.

El problema de la *especificación* y del *soporte de las interdependencias existenciales* ha sido atacado tomando el modelo BLOOM [CSGS94a], y en particular su *mecanismo de metaclases*, de tal forma que no es necesario definir un nuevo lenguaje para su especificación ni la construcción de mecanismos externos para su soporte. De esta forma, la *especificación*, los *mecanismos de operación* y la *consistencia* se implementan a lo largo de la dimensión de *clasificación/instanciación* del modelo BLOOM [CKSGS94].

Las interdependencias existenciales que no son derivadas desde las relaciones semánticas entre las clases de distintos esquemas son especificadas de forma explícita. El integrador sólo tendrá que dar una *especificación declarativa* de ellas. Su implementación se realiza definiendo metaclases por cada efecto simple (borrado, inserción, bloqueo y propagación) y combinándolos a través de los mecanismos de especialización del modelo [SCGSK94] para obtener la especificación completa de cada interdependencia.

El enfoque desarrollado permite extender el modelo con nuevas abstracciones, con lo cual se puede especificar un amplio rango de dependencias existenciales. Está pendiente investigar las dependencias de valor.

8 Seguridad en los SGBDFs

La seguridad de los SGBDFs es un aspecto importante debido a la gran diversidad de usuarios, con distintos requerimientos de seguridad, que esperan utilizar la federación de BDCs que contienen datos de diversa sensibilidad. Aunque cada BDC disponga de su propio *mecanismo de seguridad* es necesario aplicar una política global adicional a las políticas locales. Así pues, para poder asegurar seguridad será necesario realizar un *control de acceso a nivel federado.*

Durante el proceso de construcción de una federación, además de las heterogeneidades modelos de datos, lengua

fuentes distintos paradigmas de autorización, etc.

temas MAC (Mandatory Access Control), concretamente sistemas *multinivel*, pueden existir

- Que los sistemas locales utilicen distintas *clases de seguridad* (diferentes semánticamente).
- Los sistemas locales pueden tener definidos distintos *órdenes* parciales entre sus clases de seguridad. Algunos sistemas sólo soportan ordenación total.
- Pueden soportarse distintos *gránulos de clasificación.*
- Pueden aplicarse distintos *criterios de seguridad.*

La heterogeneidad de las clasificaciones locales requerirá una *reclasificación* de los datos locales a nivel global.

En sistemas DAC (Discretionary Access Control), entre los problemas derivados de la heterogeneidad se encuentran: que las BDCs soporten distintas clases de derechos de acceso, que soporten distintas unidades de autorización, que los gránulos de protección sean diferentes, que

La creación de la federación resultará todavía más complicada si algunas BDCs son DAC y otras son MAC. Para conseguir un sistema fuertemente acoplado será imprescindible disponer de un *modelo de seguridad canónico global* que permita expresar los requerimientos de seguridad de las BDCs a nivel federado ([Per93], [DJ94]).

Existen diversas limitaciones en cuanto a la utilización de un sistema DAC y/o de un sistema MAC para la seguridad de una federación ([Per93]). Como no se puede permitir que la autorización o revocación de los derechos de acceso estén en manos de los usuarios, es preferible utilizar un modelo de seguridad basado en MAC. Existen algunos trabajos en esta línea, por ejemplo Lu et al. [LOP91] presentan la construcción de un prototipo de gestor de seguridad multinivel para la interoperabilidad de BDCs relacionales.

Por otro lado, debido a la necesidad de la utilización de modelos de datos con mayor expresividad semántica que el modelo relacional, resulta imprescindible estudiar la aplicación de un *sistema de seguridad multinivel* al modelo de datos orientado a objetos.

Nuestro trabajo se centrará, inicialmente, en la integración de BDCs homogéneas en cuanto al modelo de datos y al modelo de seguridad (orientado a objetos, concretamente BLOOM, y multinivel respectivamente). Cabe destacar la propuesta de Idris et al. [IGQ94] en cuanto a la integración de esquemas de BDCs para la obtención de un esquema global. Posteriormente, abordaremos la integración de BDCs heterogéneas en cuanto al modelo de datos y/o al sistema de seguridad. Para ello será imprescindible que se definan los tipos de autorización implícita que pueden para el SGBDF.

9 Gestión de transacciones federadas

Las transacciones que ejecutan los usuarios federados tienen características diferenciales con respecto a las transacciones en Sistemas Gestores de Bases de Datos Centralizados (SGBDCs) y en Sistemas Gestores de Bases de Datos Distribuidos (SGBDDs). Estas diferencias son causadas por las características propias del entorno de ejecución, la *autonomía* y la *heterogeneidad* de las BDCs. En este contexto, la autonomía implica que cada BDC tiene libertad para:

- Elegir su propio diseño de control de concurrencia y de recuperación (*autonomía de diseño*).
- Controlar la ejecución de las operaciones propias pertenecientes a una transacción federada (*autonomía de ejecución*).
- Decidir qué peticiones externas acepta (protocolos) y cómo responder a ellas (*autonomía de comunicación*).

coexistir:

- Diferentes protocolos de control de concurrencia y de recuperación en las distintas BDCs.
- Diferentes formas de acceso.
- Diferentes niveles de autonomía.

El modelo de transacciones clásico con transacciones de estructura plana, operaciones y objetos simples, propiedades ACID (Atomicidad, Consistencia, Aislamiento y Definitividad) y serializabilidad de conflictos, es inadecuado en SGBDF debido a la autonomía y a la heterogeneidad de las BDCs. En concreto, es imposible (incluso con transacciones federadas de sólo lectura) garantizar:

- La serializabilidad de un conjunto de transacciones federadas y de transacciones locales para garantizar su aislamiento.
- La atomicidad y la recuperabilidad de transacciones federadas.

Estas limitaciones del modelo de transacciones clásico (no exclusivas de entornos interoperables) han dado lugar a la aparición de diferentes *modelos transaccionales alternativos* que redefinen los pilares del modelo transaccional clásico, intentando alcanzar un compromiso entre la autonomía de las BDCs y la eficiencia y la fiabilidad de los datos obtenidos por los usuarios. Estos modelos transaccionales alternativos se caracterizan por:

- Relajar o dar una interpretación distinta de las propiedades ACID, como podrían ser la *relajación del aislamiento* y la *atomicidad semántica* (anulación de los resultados producidos por una transacción a través de una *transacción de compensación* que deshace semánticamente dichos resultados, ejecutando operaciones inversas a las que realizó la transacción a compensar).

- Extender la estructura plana de las transacciones clásicas, permitiendo una *estructura jerárquica* con *subtransacciones* y que las operaciones no sean simples acciones de lectura o escritura, sino otras *operaciones de nivel de abstracción superior*.

Nuestras investigaciones se centran en el estudio de diferentes modelos transaccionales ([Elm92], [DSW94], [Chr91], etc.) que nos ayuden a desarrollar nuestro *modelo transaccional de estructura jerárquica* y con *subtransacciones de contingencia* (subtransacciones que realizan acciones alternativas desde un punto de vista semántico; son útiles en caso de abort de la subtransacción de la cual es subtransacción de contingencia) y de compensación.

La *semántica* y la *estructura jerárquica* de las transacciones federadas y de sus operaciones son un aspecto fundamental que queremos explotar para la derivación de *mecanismos de control de concurrencia* y de *recuperación* que nos permitan garantizar ejecuciones correctas que incluyan *transacciones de actualización* e *interdependencias* entre las BDCs. Está previsto comenzar con transacciones de sólo lectura, continuar con transacciones de actualización y finalmente contemplar la existencia de interdependencias.

Referencias

[CKSGS94] M. Castellanos, Th. Kudrass, F. Saltor, and M. García-Solaco. Interdatabase Existence Dependencies: A Metaclass Approach. In *Proceedings of the Third Int. Conference on Parallel and Distributed Information Systems (PIDS'94)*, pages 213–216. IEEE-CS Press, 1994.

[CSGS94a] M. Castellanos, F. Saltor, and M. García-Solaco. A Canonical Model for the Interoperability among Object-Oriented and Relational Databases. In Özsu, Dayal and Valduriez, editor, *Distributed Object Management*, pages 309–314. Morgan Kaufmann, 1994.

[CSGS94b] M. Castellanos, F. Saltor, and M. García-Solaco. Semantically Enriching Relational Databases into an Object Oriented Semantic Model. In D. Karagiannis, editor, *Database and Expert Systems Applications (5th International Conference DEXA'94)*, pages 125–134, Athens, 1994. Springer Verlag, LNCS 856.

[Cas93] M. Castellanos. *Semiautomatic Semantic Enrichment for the Integrated Access in Interoperable Databases*. PhD thesis, Departament de Llenguatges i Sistemes Informàtics, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 1993.

[Chr91] P.K. Chrysanthis. *ACTA, A Framework for Modeling and Reasoning About Extended Transactions*. PhD thesis, Department of Computer Science University of Massachusetts, 1991.

[DJ94] K.R. Dittrich and D. Jonscher. Current Trends in Database Technology and Their Impact on Security Concepts. In J. Biskup, M. Mongersten, and C.E. Landwehr, editors, *Database Security VIII (A-60)*, pages 11–33. Elsevier Science B. V. (North-Holland) IFIP, 1994.

[DSW94] A. Deacon, H.J. Schek, and G. Weikum. Semantics-based Multilevel Transaction Management in Federated Systems. In *Proceedings of the 10h International Conference on Data Engineering*. IEEE-CS Press, 1994.

[Elm92] A.K. Elmagarmid, editor. *Database Transaction Models for Advanced Applications*. Morgan Kaufmann, 1992.

[GS94] M.A. García-Solaco. *Semiautomatic Detection and Resolution of Semantic Conflicts in Interoperable Databases*. PhD thesis, Departament de Llenguatges i Sistemes Informatics, Universitat Politecnica de Catalunya, Barcelona, 1994.

[Per93] G. Pernul. Canonical Security Modeling for Federated Databases. In D.K. Hsiao,

[GSCS96] M.A. García-Solaco, M. Castellanos, and F. Saltor. Semantic Heterogeneity in Multidatabase Systems. In O. Bukhres and A. Elmagarmid, editors, *Object Oriented Multidatabases*. Prentice-Hall, 1996. Invited chapter.

[Sam95] J. Samos. Definition of External Schemas in Object Oriented Databases. In John

[GSSC95] M. García-Solaco, F. Saltor, and M. Castellanos. A Structure Based Schema Integration Methodology. In *Proceedings of the 11th Int. Conference on Data Engineering (ICDE'95)*, pages 505–512. IEEE-CS Press, 1995.

[SCGS91] F. Saltor, M. Castellanos, and M. García-Solaco. Suitability of Data Models as

[IGQ94] N. Idris, W. Gray, and M. Qutaishat. Integration of Secrecy Features in a Federated Database Environment. In T.F. Keefe and C.E. Landwehr, editors, *Database Security VII (A-47)*, pages 89–109. Elsevier Science B. V. (North-Holland) IFIP, 1994.

[LOP91] H. Lu, B. Ooi, and H. Pang. Multilevel Security Control in Multidatabase Management Systems. In *Proceedings of the 1st IEEE International Workshop on Interoperability in Multidatabase Systems*, pages 359–363, Apr 1991.

E.J. Neuhold, and R. Sacks-Davis, editors, *Interoperable Database Systems (DS-5) (A-25)*, pages 207–222. Elsevier Science Publishers B. V. (North-Holland) IFIP, 1993.

Murphy and Brian Stone, editors, *1995 International Conference on Object Oriented Information Systems*, pages 154–166, Dublin, Ireland, 1995. Springer.

Canonical Models for Federated DBs. *ACM SIGMOD Record*, 20(4):44–48, Dec 1991. Special issue: A. Sheth (guest ed.), Semantic Issues in Multidatabase Systems.

[SCGSK94] F. Saltor, M. Castellanos, M. García-Solaco, and Th. Kudrass. Modelling Specialization as BLOOM Semilattices. In H. Jaakkola, editor, *Information Modelling and Knowledge Bases VI (4th European-Japanese Seminar on Information Modelling and Knowledge Bases)*, pages 447–467, Kista, 1994. IOS Press, Amsterdam 1995.

[SGS93] F. Saltor and M. García-Solaco. Diversity with Cooperation in Database Schemata: Semantic Relativism. In *Proceedings of the 14th International Conference on Information Systems (ICIS'93)*, pages 247–254, 1993.

[SL90] A.P. Sheth and J. Larson. Federated Database Systems for Managing Distributed, Heterogeneous, and Autonomous Databases. *ACM Computing Surveys*, 22(3):183–236, Sep 1990.

[Thi95] C. Thieme. *Schema Integration Based on Structure and Behaviour*. PhD thesis, University of Amsterdam, May 1995.