

Estado del Arte de los Modelos Multidimensionales Espacio Temporales

State of the Art of Spatio-Temporal Multidimensional Models

Francisco J. Moreno A.¹, MSc. y Fernando Arango I., PhD.²

1. Estudiante del Doctorado en Ingeniería-Sistemas Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín

2. Profesor Asistente Escuela de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

fjmoreno@unal.edu.co, farango@unal.edu.co

Recibido para revisión 26 de Marzo de 2007, aceptado 15 de Junio de 2007, versión final 29 de junio de 2007

Resumen—En este artículo se presenta un recorrido por los principales modelos multidimensionales espacio temporales reportados hasta la fecha. Se propone un conjunto de requisitos deseables y aplicables a este tipo de modelos con el fin de evidenciar el grado de contribución de cada propuesta examinada. El objetivo es establecer el nivel de desarrollo y presentar oportunidades de investigación en este campo.

Palabras Clave—Bodegas de Datos, Modelos Multidimensionales, Bases de Datos Espacio Temporales.

Abstract—In this paper we present a survey of main multidimensional spatio temporal models reported so far. We propose a set of desired requirements that should be exist in this kind of models in order to expose contribution of each proposal. The final goal is to set up current development and to offer research opportunities in this field.

Key words—Datawarehouses, Multidimensional Models, Spatio Temporal Databases.

I. INTRODUCCIÓN

LAS bodegas de datos surgieron a mediados de la década de 1990 [1]-[2]. Éstas integran y consolidan gran cantidad de información proveniente de diferentes fuentes de una organización. Facilitan la toma de decisiones de los analistas y gerentes ya que a partir de su información es posible:

- Analizar patrones de los clientes y de grupos de clientes, por ejemplo compras, asistencia a citas médicas etc.,
- Analizar ciclos de presupuesto (disponibilidad presupuestal),
- Analizar el comportamiento en épocas especiales (fin de

año, periodos de vacaciones, inicio de la época escolar etc.) de determinados procesos (ventas, compras, envíos etc.) con el fin de afinar las estrategias de producción, atención, distribución etc.,

- Integrar información de diferentes sistemas de la empresa,
- Plantear consultas interactivas para analizar datos a bajo y alto nivel,
- Detectar casos anómalos (excepciones) o cambios repentinos en periodos de tiempo largos,
- Analizar grandes volúmenes de información de una forma ordenada y rápida.

En los últimos años han surgido propuestas para enriquecer las bodegas de datos con elementos espaciales y temporales. Con el fin de establecer el grado de contribución y la importancia de cada una de las propuestas examinadas se evalúan mediante un conjunto requisitos que se propone en la Sección 2. El objetivo final es presentar oportunidades de investigación en este campo y establecer su nivel actual de desarrollo.

El contenido del artículo es el siguiente: en la Sección 2 se presentan conceptos básicos. En la Sección 3 se definen los requisitos bajo los cuales serán examinados los diferentes modelos que se describen en la Sección 4. Finalmente, en la Sección 5 se presenta una discusión del tema y trabajos futuros.

I. CONCEPTOS BÁSICOS

Una bodega de datos se modela generalmente en forma multidimensional. Esta organización de la información facilita el análisis de los datos y la concepción de las consultas. Un modelo multidimensional, como su nombre lo sugiere, consiste de un conjunto de *dimensiones* que son asociadas a un fenómeno medible de interés para una organización. Este fenómeno es denominado *hecho*. Las dimensiones se componen de *niveles* los cuales se estructuran jerárquicamente. La Figura 1 muestra una dimensión geográfica con niveles Ciudad, Estado, Región y País. Cada nivel puede tener atributos, por ejemplo, el nivel País puede tener atributos nombre, idioma, área etc.

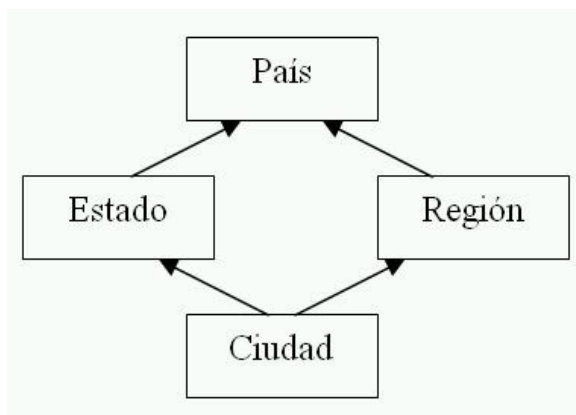


Figura 1. Dimensión geográfica.

Tradicionalmente las dimensiones han sido tratadas de forma textual (alfanumérica) y las medidas de un hecho de forma numérica. Una revisión de modelos multidimensionales de este tipo puede verse en [3].

En los últimos años los modelos multidimensionales se han enriquecido con elementos traídos de las bases de datos espaciales y temporales. Una base de datos espacial está orientada al soporte de geometrías (puntos, líneas, regiones) asociadas a objetos del mundo real [4]. Una base de datos temporal extiende el conocimiento almacenado en una base de datos acerca del estado actual del mundo incluyendo el pasado [5], por ejemplo guardar el historial de los salarios de los empleados. Una base de datos espacio temporal soporta geometrías que cambian con el tiempo, ya sea en forma o posición [6]. La presencia de espacialidad y temporalidad en un modelo multidimensional se puede reflejar tanto en las dimensiones como en los hechos tal y como se expone en los trabajos examinados en la Sección 4.

Otro concepto es el de *inclusión*. Considérese por ejemplo los niveles Ciudad y Estado de la Figura 1. Sean $c1$ y $e1$ instancias de estos niveles respectivamente. Se dice que $c1$ está incluida en $e1$ si existe una relación de pertenencia (ya sea lógica, geográfica, administrativa etc.) que indica que $c1$ está asociada a $e1$. Esta inclusión se denominará total si toda la instancia $c1$ está asociada a $e2$. Recientemente en [7] se

generalizó este concepto y se estableció el de *inclusión parcial*. Como ejemplo considérense los niveles Carretera y Ciudad tal como se muestra en la Figura 2a. Una carretera $r1$ puede estar incluida parcialmente en una ciudad $c1$, como lo muestra la Figura 2b.

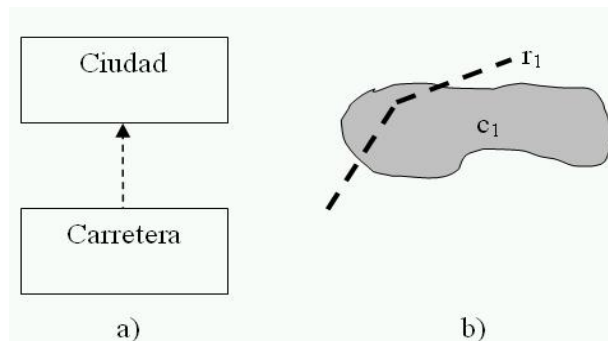


Figura 2. Inclusión parcial: a) entre niveles b) en las instancias.

II. REQUISITOS DESEABLES EN UN MODELO MULTIDIMENSIONAL ESPACIO TEMPORAL

Con el fin de evaluar los modelos de las diferentes propuestas, se procede a establecer un conjunto de requisitos deseables para tal efecto. Dichos requisitos dan cuenta de los aspectos de *expresividad* y *fácilidades de manipulación* (concepción de consultas y definición del esquema) deseables en un modelo multidimensional que posea elementos espacio temporales.

A. Inclusión (I)

Se refiere al tipo de inclusión soportada por el modelo, tal y como se describe en la Sección 2.

B. Espacialidad (E)

Se refiere a los aspectos espaciales que son soportados por el modelo. Se puede considerar desde dos puntos de vista: tipos de elementos espaciales soportados (puntos, líneas, regiones etc.) y presencia de estos elementos en los hechos (medida espacial) y en los niveles de las dimensiones (nivel espacial, atributo espacial).

C. Temporalidad

Se refiere al tipo de temporalidad soportada por el modelo. Ésta se puede reflejar en tres aspectos:

1. Temporalidad en las instancias (TI): se refiere a conservar la evolución de la asociación entre las instancias de los niveles de una dimensión, por ejemplo, sean los niveles Vendedor y Ciudad. Un vendedor $v1$ puede estar asociado a una ciudad $c1$ durante un periodo $p1$ y en un periodo $p2$ puede estar asociado a una ciudad $c2$.

2. Temporalidad en el esquema (TE): Se refiere a conservar la evolución de la estructura de una dimensión. Como ejemplo, considérese una dimensión conformada por los niveles Ciudad y País durante un periodo $p1$. En un periodo $p2$ un nivel Región es insertado entre los niveles anteriores. Asimismo, en un periodo $p3$ el nivel País podría desaparecer.

3. Versionamiento (V): Se refiere a la capacidad para recuperar la información de acuerdo a las diferentes evoluciones (versiones) que ha sufrido el esquema del modelo. Por ejemplo, proyectar la información correspondiente a un esquema actual en un esquema anterior, proyectar la información de un esquema anterior en un esquema actual.

D. Espacialidad y Temporalidad ($E + T$)

Se refiere al soporte de la evolución de los elementos espaciales. Como ejemplo, considérese un nivel Ciudad donde se conserva la evolución del crecimiento/decrecimiento de la región (mapa) correspondiente a cada ciudad.

E. Lenguaje

Se analiza desde dos aspectos:

1. Lenguaje de definición del esquema (LE): se refiere a si se definen operadores para crear los elementos del esquema.

2. Lenguaje de consulta (LC): se refiere a si se definen operadores para el planteamiento de consultas en el modelo propuesto.

F. Agregación Espacial (AE)

Tradicionalmente los hechos contienen medidas numéricas, las cuales son agregadas, por defecto, mediante una operación suma. Sin embargo, si se presenta un hecho con una medida espacial, surge el interrogante ¿cómo debe abordarse la agregación de tales medidas? [8]-[9].

III. MODELOS EXAMINADOS

El foco de interés de esta sección son los modelos multidimensionales que tienen soporte espacial, temporal o espacio temporal. Los modelos reportados son analizados de acuerdo a los requisitos definidos en la Sección 3. Este análisis permite evidenciar las fortalezas y debilidades de cada propuesta. A su vez permite descubrir carencias que pueden dar lugar a trabajos futuros tal y como se discute en la Sección 5.

G. Modelos multidimensionales con aspectos espaciales

En [10] se propone un modelo donde tanto las dimensiones como las medidas pueden ser espaciales y no espaciales. Las dimensiones pueden ser no espaciales, semiespaciales (algunos niveles espaciales) y totalmente espaciales (todos los niveles espaciales.) Una medida espacial es definida como un conjunto de punteros a objetos espaciales. Este trabajo se enfoca en presentar algoritmos para implementar eficientemente la agregación espacial de las medidas espaciales, mediante la operación *merge* [11]. Para ello se realiza una extensión a los algoritmos (no espaciales) presentados en [12].

En [13] se adopta la definición de dimensión espacial propuesta en [10]. Se presentan aspectos referentes a la implementación para la solución de consultas de tipo rango espacial (*window query*) por medio de una modificación del

algoritmo de búsqueda GiST [14] y del uso de árboles R. Por ejemplo, considérese la consulta “Obtener el total de ventas de todas las estaciones de gas ubicadas dentro de una región rectangular dada”. En este caso la dimensión espacial está constituida por las estaciones de gas. Otro de sus aportes consiste en la búsqueda de respuestas de agregación aproximadas, un problema poco trabajado y reportado en [15]. Los autores proponen realizar un manejo más apropiado de estas aproximaciones, incorporando diversas distribuciones de probabilidad y un tratamiento formal del error.

En [16] se propone un modelo multidimensional espacial denominado *Spatial MultiDimER*. Se extiende la notación gráfica del modelo Entidad-Relación [17] y de MADS [18] un modelo conceptual espacio temporal (no multidimensional). Se extiende la propuesta de [10] en cuanto a la definición de las dimensiones y medidas espaciales. Por ejemplo una medida espacial puede ser:

- Una geometría acompañada de una función de agregación espacial, por ejemplo unión geométrica, recubrimiento convexo (*convex hull*), etc.
- Un valor numérico derivado a partir de operaciones o relaciones espaciales, por ejemplo, una medida mínima distancia podría ser derivada para un hecho que tiene relación con 2 objetos espaciales.

En [19] se utiliza la notación propuesta en [16] y se clasifican las jerarquías espaciales en simétricas, asimétricas y generalizadas. Una jerarquía es simétrica si está conformada por un único camino entre el nodo raíz y el nodo hoja. En las instancias de la jerarquía todos los niveles son obligatorios. Si algunos niveles son opcionales, la jerarquía es asimétrica. Una jerarquía es generalizada si existen varios caminos excluyentes entre el nodo raíz y el nodo hoja. Los caminos pueden compartir niveles. Cada instancia de la jerarquía pertenece a un solo camino. También se examinan las jerarquías no estrictas, es decir, cuando hay relaciones muchos a muchos entre un par de niveles [20]-[7] y las jerarquías con múltiples caminos no excluyentes. Finalmente, se analizan otros tipos de relaciones espaciales [21] entre niveles espaciales, como *within* (inclusión total), *intersects* u *overlaps* (inclusión parcial) *touches* entre otras; y como éstas influyen en el proceso de agregación de las medidas.

En [22] se propone un modelo multidimensional espacial cuyo principal aporte lo constituye el manejo de *medidas complejas* y sus correspondientes aspectos de agregación. Una medida compleja es aquella que se compone de aspectos espaciales y no espaciales (alfanuméricos.) Los autores permiten que el usuario especifique como se debe agregar una medida compleja por medio de un *modo de agregación*.

En [7] se presenta un modelo multidimensional espacial con soporte de inclusión parcial. Los autores muestran que la inclusión parcial es un caso general de la inclusión total [3]. Se presenta también un lenguaje de consulta con un enfoque algebraico el cual incluye operaciones de selección, unión, agregación entre otras.

En [23] se realiza una extensión probabilística al modelo de [7]. La idea es que en el modelo preliminar, el manejo de la inclusión parcial adopta una aproximación “segura”, es decir, si se sabe que un hecho h sucede en una carretera c y dicha carretera tiene un porcentaje contenido en la ciudad z , no se puede asegurar que el hecho h haya sucedido en la ciudad z . La idea es utilizar los porcentajes de inclusión como indicadores de probabilidad. Los autores utilizan este aspecto para incorporarlo en el lenguaje de consulta que proponen.

En [24] se propone un método para integrar modelos multidimensionales (sin espacialidad), a los cuales denomina bases de datos estadísticas (SDB) con bases de datos geográficas objetuales (OGDB). La idea es establecer un mecanismo de asociación entre las clases geográficas de una OGDB y las variables (niveles) geográficas de una SDB. Esto permite responder consultas que requieren de ambas bases de datos, es decir, utilizar las capacidades analíticas de una SDB junto con las capacidades espaciales y objetuales de una OGDB.

H. Modelos multidimensionales con aspectos temporales

En [25] se propone un modelo multidimensional formal y un conjunto de operadores para borrar, insertar y actualizar dimensiones tanto a nivel de esquema como a nivel de las instancias. Aunque no existe un manejo temporal que permita realizar seguimiento a los cambios realizados, este trabajo puede considerarse un primer paso en este sentido.

En [26] se define un modelo temporal multidimensional formal junto con un conjunto de operadores (álgebra) para el manejo de la evolución del esquema y de las instancias. A diferencia del trabajo de [25] se soportan también cambios en los hechos y en los atributos (tanto de dimensiones como de los hechos). Un operador se compone de una acción y de un elemento. Por ejemplo: *insert level*, *insert attribute*, *insert classification relationship* (relación de jerarquía entre dos niveles), *insert fact*, *insert dimension into fact*, *connect attribute to fact*, *delete level* etc. Con estos operadores básicos o atómicos se pueden construir operadores más complejos, por ejemplo: *insert attribute* y *connect attribute to fact*. Este trabajo tampoco presenta un manejo temporal que permita realizar seguimiento a los cambios realizados.

En [27] se propone un modelo multidimensional temporal sin elementos espaciales. El modelo preserva la evolución tanto a nivel de las instancias como de la estructura de las dimensiones. Se propone además un lenguaje de consulta, TOLAP, que permite expresar consultas como ¿cuál fue el total de ventas del vendedor v_1 cuándo estaba asignado al almacén a_1 ? ¿Poseía la dimensión geográfica el nivel Región en una fecha específica? Sin embargo, este trabajo no aborda aspectos de versionamiento a diferencia del de [28] que aborda el versionamiento entre instancias, mediante *funciones de transformación* que permiten presentar los resultados en una determinada versión. Sin embargo, no se maneja versionamiento a nivel del esquema. En ese sentido los dos

trabajos se complementan.

En [29] se propone un modelo que maneja versionamiento tanto a nivel de instancias como de esquema. Se introducen las nociones de *modos temporales de presentación* y de *tabla de hechos multiversión*. De acuerdo a las diferentes versiones estructurales se puede utilizar la versión correspondiente de la tabla de hechos. También se proponen operadores para facilitar el versionamiento: insertar una versión de un miembro, (por ejemplo, un miembro distrito $d1$, válido durante un periodo p , puede dividirse en dos miembros $d11$ y $d12$), eliminar una versión de un miembro, reclasificarlo en la jerarquía dimensional, entre otros.

I. Modelos multidimensionales con aspectos espacio temporales

Son pocos los modelos multidimensionales encontrados que manejen tanto el aspecto espacial como el temporal.

Los trabajos encontrados son bastante incipientes, carecen de tratamiento formal y presentan sólo ideas preliminares sobre el tipo de problemas que podrían ser abordados. En la Sección 5 se discute más al respecto.

En [30] se presenta un caso de estudio de un modelo multidimensional con elementos espacio temporales. Utiliza *Perceptory* [31], el cual es una notación gráfica para modelado espacio temporal. Aborda el problema del manejo de jerarquías dinámicas en las dimensiones espaciales, es decir, la conformación de una jerarquía no siempre puede predefinirse en tiempo de diseño. Este problema es mencionado en [15] y tratado en [25] pero sin considerar espacialidad. Sin embargo, la solución propuesta en [30] es un modelo particular, no se generaliza, ni se formaliza. Tampoco se propone un lenguaje de consulta para la manipulación de su modelo. Se menciona, pero no se resuelve, el problema de la concepción de consultas que a su vez retornan relaciones espacio temporales.

En [32] se presenta un caso de estudio que integra modelos multidimensionales espaciales correspondientes a un bosque tomados en diferentes épocas. Debido a que los datos fueron obtenidos en diferentes épocas (periodos de 10 años) surgen problemas de estandarización, por ejemplo, en una década la edad de los árboles se clasificaba de forma cualitativa y en otra de forma cuantitativa. Se propone entonces la creación de clasificaciones unificadas para el modelo integrador. La técnica de integración propuesta no se generaliza ni formaliza. Tampoco se propone un lenguaje especializado de consulta para manipular el modelo.

En [33] se define un caso de estudio sobre datos ambientales y manejo del suelo. Se define un modelo con las dimensiones espaciales latitud y longitud más una dimensión temporal. No se plantea un lenguaje de consulta, ni se definen formalmente operaciones OLAP espacio-temporales, ni se concibe un modelo formal. Se plantea el uso de una interfaz a través de la cual el usuario puede seleccionar regiones, intervalos de tiempo y realizar procesos de *zoom*. El artículo

se concentra en la implementación de su sistema por medio de árboles R y Quad. Los autores expresan que muy poco trabajo ha sido realizado hasta la fecha en OLAP espacio-temporal.

En la Tabla I se realiza una comparación de los modelos analizados frente a los requisitos propuestos.

Tabla 1. Modelos Vs Requisitos

		Requisitos									
		I	E	TI	TE	V	E+T	LE	LC	AE	
M o d e l o s	Total	Si	No	No	No	No	No	No	No	Si	Han, 1998
	Total	Si	No	No	No	No	No	No	No	Si	Rao, 2003
	Total	Si	No	No	No	No	No	No	No	Si	Malinowski, 2004-2005
	Total	Si	No	No	No	No	No	No	No	Si	Bimonte, 2005
	Parcial	Si	No	No	No	No	No	No	Si	Si	Jensen, 2004
	Parcial	Si	No	No	No	No	No	No	Si	Si	Timko, 2005
	Total	Si	No	No	No	No	No	Inc.	Inc.	Si	Ferri, 2000
	Total	No	Si	Si	No	No	No	No	No	No	Hurtado, 1999
	Total	No	Si	Si	No	No	No	No	No	No	Blaschka, 1999
	Total	No	Si	Si	Inc.	No	No	Si	Inc.	No	Mendelzon, 2000
	Total	No	Si	No	Si	No	Inc.	Inc.	No	No	Eder, 2001
	Total	No	Si	Si	Si	No	Inc.	Inc.	No	No	Body, 2002
	Total	Si	No	Inc.	No	No	Inc.	No	No	No	Pestana, 2005
	Total	Si	Inc.	No	No	Inc.	No	No	No	No	Miquel, 2002
	Total	Si	No	No	No	Inc.	No	No	No	No	Jaja, 2003

Inc.= incipiente.

III. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En los últimos años ha habido mucho trabajo en el área de las bases de datos espacio temporales [6] también conocidas como bases de datos de objetos móviles. Los campos de aplicación incluyen entre otros:

- Demográfico (desplazamiento de poblaciones),
- Ecológico (crecimiento/decrecimiento de bosques),
- Mercadeo (análisis del movimiento de vendedores),
- De fenómenos naturales (movimientos de huracanes),
- Militar (movimiento de tropas, regiones ocupadas),
- Urbanístico (crecimiento/decrecimiento de ciudades).

De otro lado, los modelos multidimensionales también han mostrado sus bondades gracias a las facilidades que ofrecen para realizar análisis de grandes volúmenes de datos por medio de herramientas OLAP [34]-[36].

La unión de estos dos mundos es bastante prometedora, sin embargo las propuestas que realizan tal “fusión” son pocas y su aproximación aún es incipiente. La mayoría de los trabajos se concentra en el aspecto espacial o en el temporal pero no en ambos.

En cuanto a trabajos que se propone abordar están:

- Problemas que aún persisten en los modelos multidimensionales que no poseen elementos espaciales ni temporales. Un reporte al respecto puede verse en [15]. Se identifican problemas como: manejo de metadatos, agregación aproximada (situaciones en las que una respuesta aproximada es suficiente y la precisión no es indispensable),

versionamiento, seguridad, entre otros.

- Operaciones de cruce entre modelos multidimensionales espacio temporales, es decir, consolidar datos provenientes desde diferentes modelos, operación conocida como *Drill Across* [2] en OLAP. Como puntos de partida véase [37]-[38].

- Tal y como se expone en [19], para la relación espacial entre niveles espaciales se ha trabajado básicamente con inclusión (*overlaps*). Se deben explorar otras posibilidades como intersección, disyunción, adyacencia etc.

- Desarrollo de lenguajes especializados tanto para consultar como para definir esquemas [35] y [39] para modelos multidimensionales espacio temporales.

- Explotar el modelo objetual en los modelos multidimensionales espacios temporales. Como puntos de partida véase [24] y [40].

- La agregación de medidas espaciales requiere más trabajo: algoritmos eficientes y exploración de más operaciones espaciales, como intersección y solapamiento, para llevar a cabo tal agregación. Como punto de partida véase [8].

- Minería de datos sobre datos multidimensionales espacio temporales [35] y [39].

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se desarrolla dentro del marco del Doctorado en Ingeniería de Sistemas de la Universidad Nacional de Colombia auspiciado por Colciencias, de la cual el primer autor es becario.

REFERENCIAS

- [1] W. H. Inmon, *Building the Data Warehouse*. Nueva York: John Wiley & Sons, 2005.
- [2] S. Chaudhuri, and U. Dayal, “An Overview of Data Warehousing and OLAP Technology”, *ACM SIGMOD Record*, pp. 65-74, 1997.B.
- [3] T. B. Pedersen, and C. S. Jensen, “Multidimensional Data Modeling for Complex Data”, *Proceedings of the ICDE '99*, pp. 336-345, 1999.
- [1] R. H. Güting, “An Introduction to Spatial Database Systems”, *VLDB Journal*, Vol. 3(4), pp. 357-399, 1994.
- [2] C. J. Date, H. Darwen, and N. Lorentzos, *Temporal Data & the Relational Model*. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2002.
- [4] R. H. Güting, and M. Schneider, *Moving Objects Databases*. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2005.
- [5] C. S. Jensen, A. Kligys, T. B. Pedersen, and I. Timko, “Multidimensional Data Modeling for Location-Based Services”, *VLDB Journal*, Vol. 13(1), pp. 1-21, 2004.
- [6] I. F. Vega, R. Snodgrass, and B. Moon, “Spatiotemporal Aggregate Computation: A Survey”, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol. 17(2), pp. 271-286, 2005.
- [7] S. Shekhar, C. T. Lu, X. Tan, S. Chawla, and R. Vatsavai, “Map Cube: A Visualization Tool for Spatial Data Warehouses”, in *Geographic Data Mining and Knowledge Discovery*, H. Miller, and J. Han, Eds., Londres: Taylor and Francis, 2001.
- [8] J. Han, N. Stefanovic, and K. Koperski, “Selective Materialization: An Efficient Method for Spatial Data Cube Construction”, *Proceedings of the Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (PAKDD'98)*, pp. 144-158, 1998.
- [9] S. Shekhar, and S. Chawla, *Spatial Databases: A Tour*. Nueva York: Prentice Hall, 2003.
- [10] V. Itarinarayan, A. Rajaraman, and J. D. Ullman, “Implementing Data Cubes Efficiently”, *Proceedings of 1996 ACM-SIGMOD International Conference Management of Data, Montreal*, pp. 205-216, 1996.

- [11] F. Rao, L. Zhang, X. Yu, Y. Li, and Y. Chen, "Spatial Hierarchy and OLAP-Favored Search in Spatial Data Warehouse", *DOLAP 2003*, pp. 48-55, 2003.
- [12] J. M. Hellerstein, J. F. Naughton, and A. Pfeffer, "Generalized Search Trees for Database Systems", *VLDB 1995*, pp. 562-573, 1995.
- [13] W. Hümmer, W. Lehner, A. Bauer, and L. Schlesinger, (2002). "A Decathlon in Multidimensional Modeling: Open Issues and Some Solutions", *Da WaK 2002*, pp. 275-285.
- [3] E. Malinowski, and E. Zimányi, "Representing Spatiality in a Conceptual Multidimensional Model", *GIS 2004*, pp. 12-22, 2004.
- [4] P. P. Chen, "The Entity-Relationship Model-Toward a Unified View of Data", *ACM Transactions on Database Systems (TODS)*, Vol. 1(1), pp.9-36, 1976.
- [5] C. Parent, S. Spaccapietra, and E. Zimányi, "Spatio-Temporal Conceptual Models: Data Structures + Space + Time", *ACM-GIS '99*, pp. 26-33, 1999.
- [6] E. Malinowski E., and E. Zimányi, "Spatial Hierarchies and Topological Relationships in the Spatial MultiDimER Model", *BNCOD 2005*, pp. 17-28, 2005.
- [7] I. Song, W. Rowen, C. Medsker, and E. F. Ewen, "An Analysis of Many-to-Many Relationships Between Fact and Dimension Tables in Dimensional Modeling", *DMDW2001*, pp. 6-13, 2001.
- [8] N. Tryfona, and M. Egenhofer, "Consistency Among Parts and Aggregates: a Computational Model", *Transactions in GIS* 1(3), pp. 189-206. 1997.
- [9] S. Bimonte, A. Tchounikine, and M. Miquel, "Towards a Spatial Multidimensional Model", *DOLAP 2005*, pp. 39-46, 2005.
- [10] I. Timko, C. E. Dyreson, and T. B. Pedersen, "Probabilistic Data Modeling and Querying for Location-Based Data Warehouses", *SSDBM 2005*, pp. 273-282, 2005.
- [11] F. Ferri, E. Pourabbas, M. Rafanelli, and F. L. Ricci, "Extending Geographic Databases for a Query Language to Support Queries Involving Statistical Data", *SSDBM 2000*, pp. 220-230, 2000.
- [12] C. A. Hurtado., A. O. Mendelzon, and A.A Vaisman, "Updating OLAP Dimensions", *DOLAP 1999*, pp. 60-66, 1999.
- [13] M. Blaschka, C. Sapia, and G. Höfling, "On Schema Evolution in Multidimensional Databases", *Da WaK 1999*, pp. 1-12, 1999.
- [14] A. O. Mendelzon, and A. A.Vaisman "Temporal Queries in OLAP", *VLDB 2000*, pp. 242-253, 2000.
- [15] J. Eder, And C. Koncilia, "Changes Of Dimension Data In Temporal Data Warehouses", *Da WaK 2001*, pp. 284-293, 2001.
- [16] M. Body, M. Miquel, Y. Bédard, and A. Tchounikine, "A Multidimensional and Multiversion Structure for OLAP Applications", *DOLAP 2002*, pp. 1-6, 2002.
- [17] G. Pestana, and M. Mira Da Silva, "Multidimensional Modeling Based on Spatial, Temporal and Spatio-Temporal Stereotypes", *ESRI International User Conference*, pp. 1-11, 2005.
- [18] Y. Bédard, S. Larrivière, M. J. Proulx, and M. Nadeau, "Modeling Geospatial Databases with Plug-Ins for Visual Languages: A Pragmatic Approach and the Impacts of 16 Years of Research and Experimentations on Perceptory", *ER 2004*, pp. 17-30, 2004.
- [19] M. Miquel, Y. Bédard, A. Brisebois, J. Pouliot, P. Marchand, and J. Brodeur, "Modeling Multidimensional Spatio-temporal Data Warehouse in a Context of Evolving Specifications", *Joint International Symposium International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) Commission IVSDH 2002 95th Annual CIG Conference*, pp. 1-6, 2002.
- [20] J. Jaja, S. Kelley, and D. Rafkind, "Information Discovery in Spatio-Temporal Environmental Data", *Reporte Técnico Institute for Advanced Computer Studies University of Maryland College Park*, pp. 1-10, 2003.
- [21] R. Kimball, and M. Ross, *The Data Warehouse Toolkit: the Complete Guide to Dimensional Modeling*. Nueva York: John Wiley & Sons, 2002.
- [22] J. Han, and M. Kamber, *Data Mining: Concepts and Techniques*. Menlo Park: Morgan Kaufmann, 1996.
- [23] E. F. Codd, S. B. Codd, and C. T. Salley, "Providing OLAP to User-Analysts. An IT Mandate", in *The New Statistical Analysis of Data*, F. Anderson, Ed. Nueva York: Springer Verlag, 1996.
- [24] M. Golfarelli, D. Maio, and S. Rizzi, "The Dimensional Fact Model: A Conceptual Model for Data Warehouses", *IJCIS* 7(2-3), pp. 215-247, 1998.
- [25] A. Abelló, J. Samos, J. and F. Saltor, "On Relationships Offering New Drill-Across Possibilities", *DOLAP 2002*, pp. 7-13, 2002.
- [26] J. Han, Y. Fu, W. Wang, K. Koperski, and O. R. Zaiane, "DMQL: A Data Mining Query Language for Relational Databases", *DMKD'96*, pp. 27-33, 1996.
- [27] F. Ravat, and O. Teste, "A Temporal Object-Oriented Data Warehouse Model", *DEXA 2000*, pp. 583-592, 2000.

Francisco J. Moreno A. es Ingeniero de Sistemas de la Universidad de Antioquia y Magister en Ingeniería de Sistemas de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Actualmente cursa el Doctorado en Ingeniería de Sistemas en la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, bajo el auspicio de Colciencias, institución de la cual es becario.

Fernando Arango I. es Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín y Dr. en Informática de la Universidad Politécnica de Valencia. Actualmente es Profesor Asistente de la Escuela de Sistemas de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.