

• 14 00191402
Cepic 1

BASES DE DADES BITEMPORALS

Carme Martín
Jaume Sistac

Report LSI-94-13-R



Facultat d'Informàtica
de Barcelona - Biblioteca

13 JUN. 1995

BASES DE DADES BITEMPORALS

(written in Catalan)

Carme Martín, Jaume Sistac.

ABSTRACT

Time is an essential part of information since it predicates about a constantly evolving real world. In this report, we present what is now considered in the best way to deal with time: mixing transaction time (the time when the information was stored in the database), with valid time (the time when the information is true in the modeled reality). By combining this two times, four types of databases are obtained, which differ in both their capability to support these time concepts and their ability to process temporal information.

This report defines a bitemporal database model and presents a survey of selected problems in bitemporal databases. These problems focus mainly on the following issues: representations, updates and query languages for bitemporal databases.

BASES DE DADES BITEMPORALS

**Carme Martín, Jaume Sistac.
LSI, Febrer 1994.**

INDEX

	Pàg.
1.- Introducció.	2
2.- Conceptes bàsics.	3
3.- Tipus de bases de dades, considerant la seva representació del temps.	7
4.- Breu història de les bases de dades temporals.	10
5.- Definició de base de dades bitemporal.	12
6.- Representacions de bases de dades bitemporals.	13
7.- Actualitzacions de bases de dades bitemporals.	16
8.- Llenguatges de consulta per a bases de dades bitemporals.	19
9.- Problemàtica de la utilització de bases de dades bitemporals.	22
10.- Conclusions.	24
11.- Bibliografia.	25

1.- Introducció.

Una base de dades manté informació sobre una organització i les seves activitats. Les bases de dades convencionals suposen que la única informació d'interés per l'empresa és la informació "d'aquest moment". Però això no és del tot cert, perquè la majoria de les aplicacions necessiten ser interpretades en un context temporal.

Les bases de dades modelen la realitat, però els SGBD convencionals no tenen la capacitat d'emmagatzemar i processar aspectes que varien amb el temps. Per exemple, les bases de dades convencionals no podrien fer, adequadament, ni consultes, ni actualitzacions, com les següents:

- ◆ Quina quantitat del producte P1 va ser venuda des de gener de 1993 fins a juliol de 1993?
- ◆ Quants productes va comprar el client C1 en el mes de desembre de 1993?
- ◆ Des que C1 és client nostre hi ha hagut algun mes de l'any en que no ens comprés res?
- ◆ A març de 1993 el client C1 va comprar 5 unitats del producte P1 i no 10 com vam enregistrar.
- ◆ El client C1 ens comprarà 15 unitats de P1 el mes vinent.

Per poder fer les consultes i actualitzacions anteriors cal proveir de suport temporal al SGBD. El temps és una part essencial de la majoria de les aplicacions de gestió d'informació i necessita un tractament adequat. Les dades emmagatzemades necessiten ser interpretades dins del context de temps i per poder obtenir això, haurem de treballar amb bases de dades temporals.

Darrerament, s'han realitzat una quantitat considerable de treballs sobre el tema del temps, amb una certa confusió terminològica, deguda a la varietat de noms existents per anomenar un mateix concepte. En el següent apartat intentarem aclarir alguns conceptes bàsics perquè es puguin reconèixer sota qualsevol nom.

2.- Conceptes bàsics.

En aquesta secció veurem uns conceptes bàsics per a treballar amb bases de dades temporals, expressats de la forma més utilitzada habitualment.

◆ *Temps vàlid.*

El temps vàlid d'un fet d'una base de dades és el temps en que el fet és cert en la realitat modelada.

◆ *Temps de transacció.*

El temps de transacció d'un fet d'una base de dades és el temps en que el fet s'emmagatzema a la base de dades.

Els valors del temps de transacció no poden ser posteriors al temps actual. A més, com és impossible canviar el moment d'emmagatzemament, els temps de transacció no es poden modificar.

◆ *Temps definit per l'usuari.*

El temps definit per l'usuari és un domini d'atributs de dates i temps. Els valors del temps definit per l'usuari no són interpretats pel SGBD i només cal una funció d'entrada/sortida per la seva representació interna. El temps definit per l'usuari és necessari quan volem emmagatzemar a la base de dades informació temporal addicional, com per exemple, "dia_naixement" o "data_contractació".

◆ *Temporal.*

La paraula temporal s'utilitza per indicar que el concepte lligat a temporal es refereix a algun aspecte de temps.

◆ *Base de dades temporal.*

Una base de dades temporal suporta alguns aspectes de temps, sense tenir en compte el temps definit per l'usuari.

◆ *Operador de fracció de temps de transacció.*

L'operador de fracció de temps de transacció s'aplica a relacions amb temps de transacció. Donat un valor de temps, anterior a l'actual, retorna l'estat de la relació en el moment especificat pel valor de temps.

◆ *Operador de fracció de temps vàlid.*

L'operador de fracció de temps vàlid s'aplica a relacions amb temps vàlid. Donat un valor de temps, retorna l'estat de la relació en el moment especificat pel valor de temps.

◆ *Interval.*

Un interval és el temps entre dos esdeveniments, o dit d'un altre manera, assumint un model consistent en un conjunt de punts de temps plenament ordenat, un interval és un parell ordenat de punts, on el primer punt que defineix l'interval és més petit que el segon.

◆ *Rectangle bitemporal.*

Un rectangle bitemporal és la representació d'un fet en un univers, amb temps de transacció i temps vàlid, de coordenades $[0, ARA] \times [0, \infty)$, respectivament.

◆ *Estampillatge de temps (timestamp).*

Un estampillatge de temps és un valor de temps associat amb un objecte amb temps estampillat, per exemple, un valor d'atribut o tupla.

◆ *Element temporal.*

Un element temporal és la unió finita de caixes de temps n-dimensionals. Els elements temporals són tancats sota el conjunt d'operacions teòriques d'unió, intersecció i complementari.

Els elements temporals s'utilitzen com estampillatges de temps (timestamps). Casos particulars d'elements temporals són: intervals de temps vàlid, intervals de temps de transacció i rectangles bitemporals (temps vàlid i temps de transacció).

◆ ***Chronon.***

Un chronon és la durada de temps més petita que pot suportar un SGBD temporals. És una unitat de temps no descomponible.

◆ ***Cicle de vida (lifespan).***

El cicle de vida d'un objecte d'una base de dades és el temps sobre el que està definit.

◆ ***Homogeneïtat temporal.***

Una tupla temporal és temporalment homogènia si el cicle de vida de tots els valors dels atributs és idèntic.

Una relació temporal s'anomena temporalment homogènia si totes les seves tuples són temporalment homogènies.

Una base de dades temporal és temporalment homogènia si totes les seves relacions són temporalment homogènies.

◆ ***Esdeveniment.***

Un esdeveniment és un instant isolat en el temps. Un esdeveniment succeeix en un temps t si esdevé en algun moment durant el chronon representat per t .

◆ ***Atributs invariants amb el temps.***

Un atribut invariant amb el temps és un atribut que té un valor restringit a no canviar amb el temps. És una funció de valor constant respecte al temps, com per exemple, el dni o el nom d'una persona.

◆ ***Atributs variants amb el temps.***

Un atribut variant amb el temps és un atribut que té un valor que no està restringit a ser constant en el temps, com per exemple, el sou o l'edat d'una persona.

3.- Tipus de bases de dades, considerant la seva representació del temps.

Si agafem les dues primeres definicions de l'apartat anterior, de temps vàlid i temps de transacció i tractem l'habilitat amb que les bases de dades suporten aquests conceptes de temps i processen la informació temporal, obtindrem quatre tipus de bases de dades.

◆ *Base de dades instantània (o base de dades snapshot).*

És una base de dades convencional, que no emmagatzema informació dels estats passats o futurs de la base de dades.

En una base de dades instantània només es pot consultar o actualitzar el moment actual, ja que no tenim constància dels estats passats de la base de dades.

◆ *Base de dades amb temps de transacció (o base de dades rollback).*

És una base de dades que suporta el temps en que la informació s'emmagatzema en la base de dades (temps de transacció).

En una base de dades amb temps de transacció es poden consultar els diferents estats de la base de dades, però només es pot modificar el darrer (o sigui, l'actual).

◆ *Base de dades amb temps vàlid (o base de dades històrica).*

És una base de dades que suporta el temps en que la informació esdevé en la realitat que s'està modelant (temps vàlid).

En un base de dades amb temps vàlid es permet modificar els estats passats, però no es pot recordar el moment en que els errors es van corregir.

◆ *Base de dades bitemporals.*

És una base de dades que suporta temps vàlid i temps de transacció.

Veiem, a continuació, un exemple sobre aquests quatre tipus de bases de dades, tenint en compte una relació, inicialment buida, on tenim els *empleats* d'una empresa amb els atributs *nom* i *sou*:

En primer lloc inserim a en Jordi amb un sou de 45000 pts al setembre de 1993. L'estat resultant després de fer aquesta inserció sobre els quatre tipus de bases de dades es pot veure a la figura 3.1.

Snapshot:			
	Nom	Sou	
	Jordi	45000	
Rollback:			
	Nom	Sou	Temps de transacció
	Jordi	45000	Setembre 1993
Històrica:			
Temps vàlid	Nom	Sou	
Setembre 1993	Jordi	45000	
Bitemporal:			
Temps vàlid	Nom	Sou	Temps de transacció
Setembre 1993	Jordi	45000	Setembre 1993

Figura 3.1

Després d'inserir a en Jordi amb un sou de 45000 pts al setembre de 1993, veiem que els quatre tipus de bases de dades expressen la mateixa informació.

Ara, inserim el fet que en Jordi al desembre de 1993 passa a tenir un sou de 60000 pts, i podem veure l'estat resultant dels quatre tipus de bases de dades a la figura 3.2.

A la figura 3.2 podem veure que la base de dades bitemporal es converteix en una seqüència d'estats històrics, diferenciant-se clarament dels altre tipus de bases de dades.

A continuació, a gener de 1994, ens adonem que en Jordi guanyava 80000 pts al desembre de 1992, en lloc de 60000 pts, com havíem emmagatzemat.

A la figura 3.3, veiem que la base de dades rollback no permet modificar un fet passat, però podem introduir les dades correctes així que les coneixem. La base de dades històrica ens permet modificar, però no podem saber que hem fet una modificació, mentre que la base de dades bitemporal ens permet modificar, però a l'hora té constància del període en que les dades van ser errònies.

Snapshot:			
	<u>Nom</u>	<u>Sou</u>	
	Jordi	60000	
Rollback:			
	<u>Nom</u>	<u>Sou</u>	<u>Temps de transacció</u>
	Jordi	45000	Setembre 1993
	Jordi	60000	Desembre 1993
Històrica:			
<u>Temps vàlid</u>	<u>Nom</u>	<u>Sou</u>	
Setembre 1993	Jordi	45000	
Desembre 1993	Jordi	60000	
Bitemporal:			
<u>Temps vàlid</u>	<u>Nom</u>	<u>Sou</u>	<u>Temps de transacció</u>
Setembre 1993	Jordi	45000	Setembre 1993
Setembre 1993	Jordi	45000	Desembre 1993
Desembre 1993	Jordi	60000	

Figura 3.2

Snapshot:			
	<u>Nom</u>	<u>Sou</u>	
	Jordi	80000	
Rollback:			
	<u>Nom</u>	<u>Sou</u>	<u>Temps de transacció</u>
	Jordi	45000	Setembre 1993
	Jordi	60000	Desembre 1993
	Jordi	80000	Gener 1994
Històrica:			
<u>Temps vàlid</u>	<u>Nom</u>	<u>Sou</u>	
Setembre 1993	Jordi	45000	
Desembre 1993	Jordi	80000	
Bitemporal:			
<u>Temps vàlid</u>	<u>Nom</u>	<u>Sou</u>	<u>Temps de transacció</u>
Setembre 1993	Jordi	45000	Setembre 1993
Setembre 1993	Jordi	45000	Desembre 1993
Desembre 1993	Jordi	60000	
Setembre 1993	Jordi	45000	Gener 1994
Desembre 1993	Jordi	80000	

Figura 3.3

Finalment, volem inserir el fet que, a febrer de 1994, el Jordi passa a cobrar 60000 pts des de gener de 1994.

A la figura 3.4, podem veure que la base de dades bitemporal es la única que realment ens permet emmagatzemar informació retro o proactiva.

Snapshot:			
	Nom	Sou	
	Jordi	60000	
Rollback:			
	Nom	Sou	Temps de transacció
	Jordi	45000	Setembre 1993
	Jordi	60000	Desembre 1993
	Jordi	80000	Gener 1994
	Jordi	60000	Febrer 1994
Històrica:			
Temps vàlid	Nom	Sou	
Setembre 1993	Jordi	45000	
Desembre 1993	Jordi	80000	
Gener 1994	Jordi	60000	
Bitemporal:			
Temps vàlid	Nom	Sou	Temps de transacció
Setembre 1993	Jordi	45000	Setembre 1993
Setembre 1993	Jordi	45000	Desembre 1993
Desembre 1993	Jordi	60000	
Setembre 1993	Jordi	45000	Gener 1994
Desembre 1993	Jordi	80000	
Setembre 1993	Jordi	45000	Febrer 1994
Desembre 1993	Jordi	80000	
Gener 1994	Jordi	60000	

Figura 3.4

A la figura 3.5, podem veure gràficament les quatre actualitzacions que hem anat fent sobre la relació d'empleats.

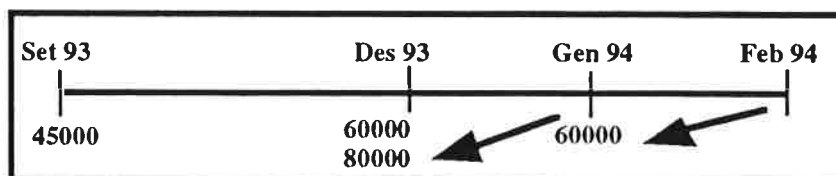


Figura 3.5

4.- Breu història de les bases de dades temporals.

En aquesta secció, presentem una breu història de les bases de dades temporals, basada en l'article d'en [Sno90], intentant mostrar els treballs més importants realitzats, en aquesta àrea, fins ara.

1975 Wiederhold, G.; Fries, J.F. & Weyl S. escriuen el primer article sobre bases de dades temporals que apareix en un congrés d'informàtica. A més, implementen el primer SGBD històric.

1977 Schueler, B. és el primer autor que treballa amb temps de transacció.

1979 Jones, S.; Mason, P. & Stamper, R. creen el primer llenguatge per a consultes històriques general (LEGOL 2.0).

Finals 70 Codd, E.F. presenta el model de dades RM/T amb esdeveniments i model de dades de sèries de temps de Yamami.

Ariav, G.; Kimball, K.A. & Morgan, H.L. implementen el primer SGBD rollback (DATA system).

Bubenko, J.A. / Sernadas, A., entre d'altres, fan els primers estudis sobre l'especificació de sistemes d'informació, tractant la informació amb el pas del temps.

1983 Clifford, J. & Warren, D.S. defineixen la primera semàntica formal pel model de dades històric. Aquest és el primer article que introdueix el concepte de bases de dades orientades a temps en publicacions importants de bases de dades.

1984/1985 Dadam, P.; Lum, V. & Werner, H.D. / Lum, V.; Dadam P.; Erbe, R.; Guenauer, J.; Pistor, P.; Walch, G.; Werner, H. & Woodfill, J. implementen el primer prototipus de SGBD temporals que suporta temps vàlid i temps de transacció.

Ahn, I. & Snodgrass, R.T. demostren que el temps vàlid i el temps de transacció són ortogonals, permetent poder cercar cadascun d'ells independentment.

1987 Stonebraker, M. fa la primera implementació de Postgres per relacions rollback en discos òptics.

TAIS: Primera conferència dedicada a les bases de dades temporals, entre d'altres aspectes.

Finals 80 Chomicki, J.& Imielinski, T. fan les primeres investigacions en bases de dades deductives temporals.

Principis 90 Comença un creixement espectacular del nombre de treballs en el tema de bases de dades temporals, descrit amb tot detall a [Kli93].

1993 Tansel, A.U.; Clifford, J.; Gadia, S.; Jajodia, S.; Segev, A. & Snodgrass R. publiquen el primer llibre dedicat exclusivament a bases de dades temporals.

5.- Definició de base de dades bitemporal.

Una base de dades bitemporal, definida entre d'altres autors, per: [SA86], [JCG+92], [TCG+93] és una base de dades que suporta un temps vàlid i un temps de transacció, on el temps vàlid és el temps en que la informació va ser, és o serà vàlida, i el temps de transacció és el temps en que la informació es donada a conèixer a la base de dades. Una relació bitemporal es pot veure, doncs, com una seqüència d'estats històrics on cadascun d'ells és una relació històrica completa (gràficament representat a la figura 5.1).

Més formalment, [Cho93] defineix una base de dades bitemporal de la següent forma:

Assumint un únic domini temporal T , un únic domini de dades U i un conjunt de relacions bitemporals P_1^T, \dots, P_k^T , una base de dades bitemporal es pot veure com una estructura $D^T = (U, T, P_1^T, \dots, P_k^T)$ pel llenguatge de primer ordre de doble tipus L_D^T , que conté un nou símbol de tupla bitemporal p_i^T i símbols constants per tots els elements de U i de T .

Intuitivament, $D^T \models p^T(x_1, \dots, x_n, t)$, on x_1, \dots, x_n són dades i t és l'element temporal, si i només si $p(x_1, \dots, x_n)$ esdevé en l'instant t .

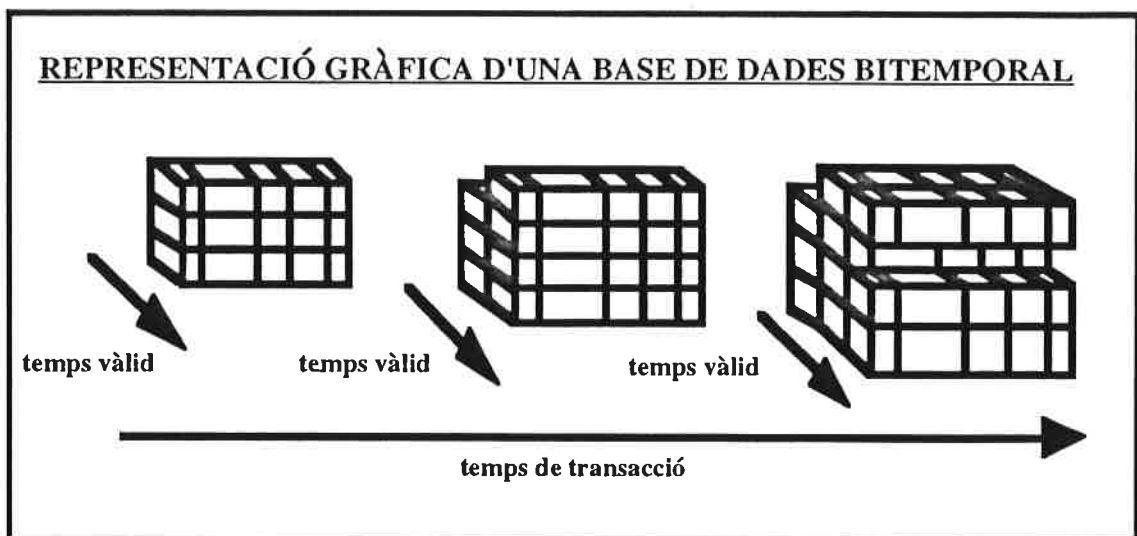


Figura 5.1

6.- Representacions de bases de dades bitemporals.

Una relació bitemporal conceptual té una estructura molt simple, és un conjunt de fets amb estampillatges de temps d'elements temporals, que no són més que conjunts de chronons bitemporals. A aquesta relació bitemporal conceptual, li podem associar diferents esquemes de representació. Alguns autors consideren que les relacions normalitzades no són les més adients per a sistemes que incorporen el temps i són partidaris de treballar amb relacions NF², però de moment, aquest punt de vista complica molt els esquemes de representació i per tant hem optat per analitzar, en aquest apartat, els cinc esquemes de representació normalitzats més importants per a associar a una relació bitemporal conceptual:

◆ *Esquema de representació basat en tuples estampillades.*

La forma més senzilla i més comú de representar una relació bitemporal es utilitzar un esquema de relacions instantànies, R, de la forma següent:

$$R = (A_1, \dots, A_n, T_s, T_e, V_s, V_e)$$

On, T_s és el chronon corresponent a l'inici del temps de transacció, T_e és el chronon corresponent al final del temps de transacció, V_s és el chronon corresponent a l'inici del temps vàlid i V_e és el chronon corresponent al final del temps vàlid. Aquests quatre valors defineixen una regió rectangular, de manera que una tupla conceptual és el conjunt dels rectangles que la representen (com es pot veure a la figura 7.1).

◆ *Esquema de representació basat en cinc estampillatges.*

[BZ82] introduïx un esquema de representació similar al basat en tuples estampillades, però fent servir cinc estampillatges de temps, en lloc de quatre:

$$R = (A_1, \dots, A_n, V_s, V_e, T_{vs}, T_{ve}, T_d)$$

On, V_s és el temps vàlid d'inici, V_e és el temps vàlid de final, T_{vs} és el temps de transacció que tenim quan V_s s'enregistra, T_{ve} és el temps de transacció que tenim quan V_e s'enregistra i T_d és el temps de transacció que tenim quan la tupla s'esborra lògicament.

♦ *Esquema de representació basat en estampillatges de valors d'atributs.*

Aquest esquema de representació consisteix en agrupar en una única tupla tota la informació referent a un objecte i es sol utilitzar per modelització de dades:

$$R = ([[T_s, T_e], [V_s, V_e], A_1], \dots, [[T_s, T_e], [V_s, V_e], A_n])$$

On, T_s és el chronon corresponent a l'inici del temps de transacció, T_e és el chronon corresponent al final del temps de transacció, V_s és el chronon corresponent a l'inici del temps vàlid i V_e és el chronon corresponent al final del temps vàlid.

[Gad92] en el model de TempSQL utilitza aquesta representació associant a cada valor d'un atribut un interval de temps vàlid i un interval de temps de transacció.

Notem que aquest esquema de representació defineix, a l'igual que l'esquema de representació basat en tuples estampillades, rectangles bitemporal.

♦ *Esquema de representació mitjançant indexació per temps de transacció.*

L'esquema de representació mitjançant indexació per temps de transacció és una seqüència de d'estats de temps vàlid que poden ser indexats pel temps de transacció:

$$R = (V, A_1, \dots, A_n, T)$$

On, V és el temps vàlid i T és el temps de transacció.

Aquesta representació s'obté dividint les dimensions del temps de transacció d'acord amb els inicis i finals dels intervals de temps de transacció de totes les tuples de la relació bitemporal. Després, per cada partició obtinguda, s'agrupen les tuples d'acord amb els intervals de temps vàlid.

♦ *Esquema de representació basat en backlogs.*

Aquest esquema de representació ens mostra una relació bitemporal, R , com a backlogs, de la següent forma:

$$R = (A_1, \dots, A_n, V_s, V_e, T, Op)$$

On, V_s és temps vàlid d'inici, V_e és el temps vàlid de final, T és el temps de transacció corresponent a l'inserció d'una tupla i Op és el valor que indica si l'actualització a fer, és una inserció (I) o un esborrat (D).

La principal diferència entre aquest esquema de representació i els altres quatre, és que les tuples en un backlog bitemporal mai es poden modificar, només es poden afegir.

Exemple:

Veiem un exemple d'aquests cinc esquemes de representació, considerant una relació *ASSIG*, que assigna un professor a un departament. El nostre cas, en *Jordi* es contractat per *LSI*, el dia 5 de juny, per un període de temps del 10 al 15 de juny.

- ◆ *Esquema de representació basat en tuples estampillades.*

$$ASSIG = ('Jordi', 'LSI', 5/6, ARA, 10/6, 15/6)$$

- ◆ *Esquema de representació basat en cinc estampillatges.*

$$ASSIG = ('Jordi', 'LSI', 10/6, 15/6, 5/6, 5/6, ARA)$$

- ◆ *Esquema de representació basat en estampillatges de valors d'atributs.*

$$ASSIG = ({[5/6, ARA], [10/6, 15/6], 'Jordi'}, {[5/6, ARA], [10/6, 15/6], 'LSI'})$$

- ◆ *Esquema de representació mitjançant indexació per temps de transacció.*

$$ASSIG = ((10/6, 'Jordi', 'LSI', 5/6), (16/6, ' ', ' ', 5/6))$$

- ◆ *Esquema de representació basat en backlogs.*

$$ASSIG = ('Jordi', 'LSI', 10/6, 15/6, 5/6, I)$$

$$\begin{aligned}
 \text{Esborrar}(r, (a_1, \dots, a_n)) = & \\
 & r - \{ (a_1, \dots, a_n / t_b) \} \cup \{ (a_1, \dots, a_n / t_b - (ARA, c_v) \text{ TM } t_b) \} \\
 & \text{si } \exists t_b ((a_1, \dots, a_n / t_b) \text{ TM } r \\
 r & \qquad \qquad \qquad \text{altrecas}
 \end{aligned}$$

On, r és la relació d'on volem esborrar la tupla (a_1, \dots, a_n) , representada de la forma $(a_1, \dots, a_n / t_b)$.

c_v és un conjunt de chronons de temps vàlid i t_b és un element bitemporal.

◆ **Modificació.**

Fer una modificació en bases de dades bitemporals consiteix en fer un esborrat seguit d'una inserció.

$$\begin{aligned}
 \text{Modificació}(r, (a_1, \dots, a_n), t_v) = & \\
 & \text{Inserir}(\text{Esborrar}(r, (a_1, \dots, a_n)), (a_1, \dots, a_n), t_v)
 \end{aligned}$$

On, r és la relació on volem modificar la tupla (a_1, \dots, a_n) en un determinat temps vàlid t_v , representada de la forma $(a_1, \dots, a_n / t_v)$.

Exemple:

Considerem una base de dades bitemporal amb una relació *ASSIG*, que assigna un professor a un departament, en el nostre cas, en *Jordi* és un professor del departament de *LSI*.

En primer lloc, LSI contracta a en Jordi, el dia 5 de juny, per un període del 10 al 15 de juny (figura 7.1.a). El dia 10 de juny, LSI s'en adona que el contracte d'en Jordi era del 5 al 20 de juny i realitza la correcció (figura 7.1.b). El 15 de juny, LSI veu que la correcció realitzada el 10 de juny era errònia i en realitat en Jordi, només havia estat contractat del 10 al 15 de juny (figura 7.1.c). El dia 20 de juny, LSI descobreix que en Jordi no treballava al departament de LSI si no en el d'AC i, a més LSI contracta a la Maria per un període del 25 al 30 de juny (figura 7.1.c).

A la figura 7.1 podem anar veient la representació gràfica bitemporal de les diferents actualitzacions que anirem fent sobre la base de dades bitemporal d'exemple.

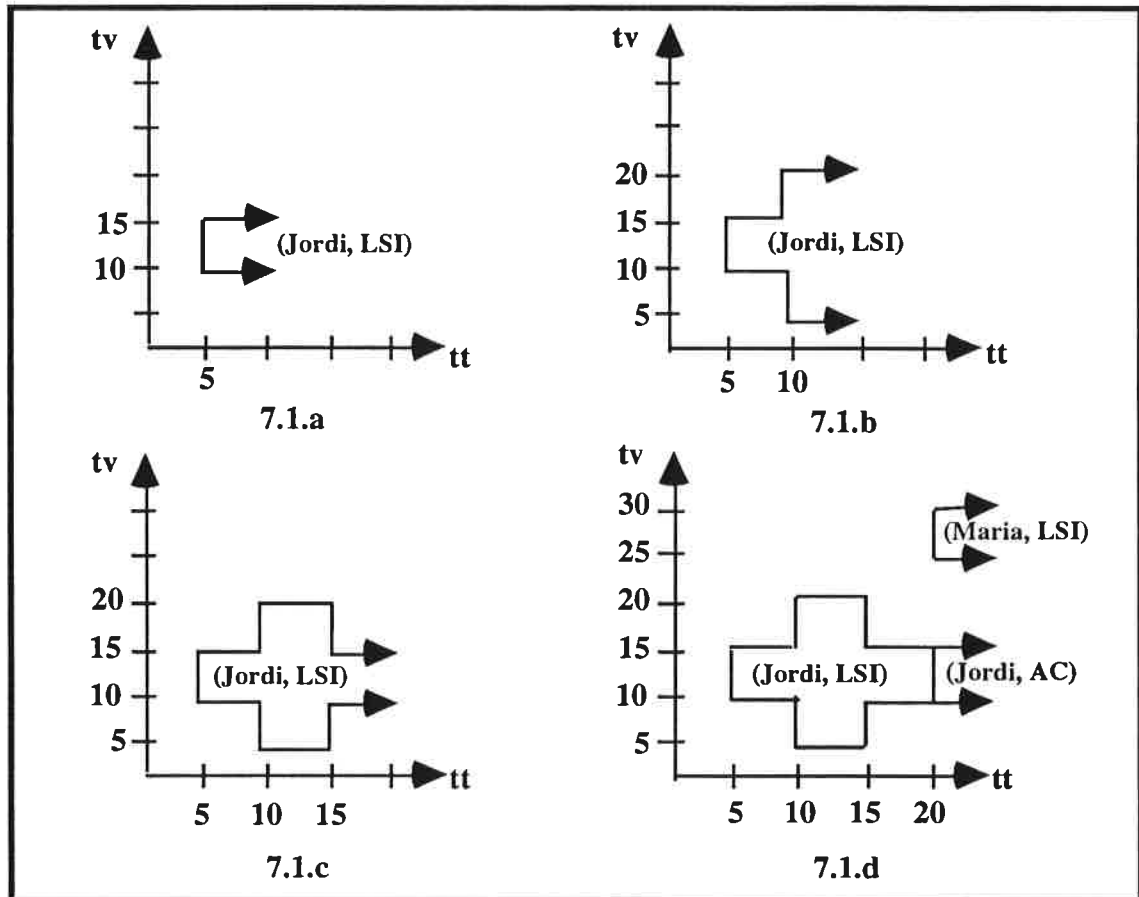


Figura 7.1

A la figura 7.2 podem veure com aniríem fent els canvis reflexats a la figura 7.1, mitjançant insercions, esborrats i modificacions.

ACTUALITZACIONS	TEMPS T.
insertar (assig, ('Jordi', 'LSI'), [10/6, 15/6])	5/6
modificar (assig, ('Jordi', 'LSI'), [5/6, 20/6])	10/6
modificar (assig, ('Jordi', 'LSI'), [10/6, 15/6])	15/6
esborrar (assig, ('Jordi', 'LSI'))	20/6
insertar (assig, ('Jordi', 'AC'), [10/6, 15/6])	20/6
insertar (assig, ('Maria', 'LSI'), [25/6, 30/6])	20/6

Figura 7.2

8.- Llenguatges de consulta per a bases de dades bitemporals.

En aquesta secció veurem, a grans trets, els principals llenguatges de consulta que existeixen per a bases de dades bitemporals. Aquests llenguatges, i d'altres, es troben ampliament explicats a [TCG+93].

◆ *Lògica de primer ordre.*

El llenguatge de lògica de primer ordre d'una base de dades bitemporal pot ser utilitzat com a llenguatge de consulta, com podem veure a [TC90].

Veiem un exemple de la utilització de llenguatge de lògica de primer ordre:

"Volem saber els països que han perdut i han tornat a guanyar la seva independència" (On I serà la relació que expressa la independència i N és el domini temporal).

$$\exists t_1, t_2, t, s_1, s_2, s \quad I^N(x, s_1, t_1) \wedge I^N(x, s_2, t_2) \wedge \neg I^N(x, s, t) \wedge t_1 < t < t_2.$$

Posteriorment, per implementar l'avaluació de consultes cal fer servir alguna de les tècniques de representació basada en tuples estampillades.

◆ *Àlgebra temporal.*

El resultat d'utilitzar les operacions de l'àlgebra relacional, ampliades per manipular el temps, pot ser expressat com una fórmula de lògica de primer ordre, projectada, per exemple, mitjançant el quantificador existencial.

Per tant l'exemple anterior és podria expressar de la mateixa forma que l'hem fet amb lògica de primer ordre.

Les noves operacions que s'incorporen per treballar amb el temps són:

- L'operador de *derivació* canvia el temps estampillat de cada valor d'atribut d'una tupla per un nou temps estampillat obtingut dels estampillatges existents en els atributs de les tuples.

- L'operador *snapshot* SN troba una relació instantània vàlida en un determinat temps t .

● L'operador AT , es l'invers de l'operador SN , i converteix una relació instantània en el seu temps vàlid (considerant com a vàlid un determinat temps t).

◆ *Lògica temporal.*

La lògica temporal, que es denota com $tl(L_D)$, va ser introduïda per [Ser80] i desenvolupada per [TC90]. Aquest llenguatge conté les següents connectivats temporals binaries:

● A *since* B és cert a l'instant i ssi per algun $j, j < i$, B és cert a l'instant j , i per cada $k, j < k \leq i$, A és cert a l'instant k .

S'utilitza " $\blacklozenge A$ " per denotar "*cert since* A ".

● A *until* B és cert a l'instant i ssi per algun $j, j > i$, B és cert a l'instant j , i per cada $k, i \leq k < j$, A és cert a l'instant k .

S'utilitza " $\blacklozenge A$ " per denotar "*cert until* A ".

L'exemple de la independència, enunciat en el primer llenguatge, expressat en lògica temporal, seria:

$$\exists s_1, s_2, s \quad \blacklozenge I(x, s_1) \wedge \neg I(x, s) \wedge \blacklozenge I(x, s_2).$$

◆ *Datalog_{1S}.*

Datalog_{1S}, és un llenguatge de programació lògica que pot utilitzar-se com a llenguatge de consulta per bases de dades bitemporals. Les consultes es defineixen mitjançant regles de Datalog_{1S}, que s'apliquen al conjunt de fets de la base de dades bitemporal.

Veiem l'exemple de la independència, enunciat en el primer llenguatge, expressat en Datalog_{1S}:

```
consulta(X) :- va_ser_i(X,T), ¬i(X,T), torna_a_ser_i(X,T).
va_ser_i(X,T+1) :- i(X,T).
va_ser_i(X,T+1) :- va_ser_i(X,T).
torna_a_ser_i(X,T) :- i(X,T+1).
torna_a_ser_i(X,T) :- torna_a_ser_i(X,T+1).
```

◆ *TQUEL*.

TQUEL és un llenguatge de consulta a bases de dades bitemporals, extensió del llenguatge QUEL amb suport bitemporal, que es basa en utilitzar relacions binàries entre intervals, com *overlap*, *precede*, *beginof*, *endof* o *extend*, per treballar tant amb el temps vàlid, com amb el temps de transacció.

TQUEL incorpora la clàusula *as-of*, per treballar amb el temps de transacció i la clàusula *when*, per treballar amb el temps vàlid.

Veiem un exemple, expressat en TQUEL, on "volem saber la història de tots els empleats mentre l'empleat de nom Tom va treballar a l'empresa" (Emp és la relació on tenim tots els emplots de l'empresa):

```
range of X is Emp
range of Y is Emp
retrieve X.all
valid during X overlap Y
where Y.Name = 'Tom'
```

◆ *TempSQL*.

TempSQL és un llenguatge de consulta a bases de dades bitemporals, extensió del llenguatge SQL amb suport bitemporal, que es basa en la introducció de la clàusula *while* per representar expressions temporals i la clàusula *during* per representar expressions temporals associades a un *group by*.

Veiem l'exemple utilitzat en l'explicació de TQUEL, expressat en TempSQL:

```
select *
while [[select * from Emp where Name = 'Tom']]
from Emp
```


9.- Problemàtica de la utilització de bases de dades bitemporals.

Malgrat la gran quantitat de treballs que s'estan realitzant en l'àrea de bases de dades bitemporals, encara queden molts problemes per a resoldre. A continuació, veurem aquests problemes agrupats en tres categories:

❶ *Què haurien de permetre les bases de dades bitemporals que encara no ofereixen?*

◆ La representació hauria de permetre incertesa d'informació. Molta de la informació temporal és estrictament relativa i es gairebé impossible d'expressar amb dates absolutes, com per exemple, no sabem en quin moment concret succeeixen ni *A*, ni *B*, però si coneixem el fet que *A* esdevé després de *B*, [All83].

◆ La representació hauria de permetre escollir la granularitat. Per exemple, quan modelem informació d'història, es podria necessitar considerar el temps, només en termes de dies, o fins i tot d'anys. Quan modelem informació per a una central nuclear, es pot necessitar considerar el temps de l'ordre de nanosegons o menys.

◆ El model hauria de suportar persistència. Això és, facilitar raonament per defecte, del tipus: "Si jo estaciono el meu cotxe en un aparcament *A*, aquest matí, hauria de ser-hi allà en aquests moments", encara que la demostració no sigui possible, el cotxe podria haver estat robat o se'l podia haver endut la grua, [All83].

◆ Seria molt interessant que les bases de dades bitemporals incorporessin capacitats de deducció, de forma que les fés més eficients. Una possible solució seria, introduir el suport necessari perquè les bases de dades deductives puguin treballar amb temps vàlid i temps de transacció.

❷ Implementacions ineficients.

Ens aquests moments, les bases de dades bitemporals són altament ineficients degut a la gran quantitat d'informació que han d'emmagatzemar, per sempre. Recordem que en una base de dades bitemporal no s'esborra mai, malgrat que es parli del fet d'esborrar, en realitat s'afegeix informació per indicar que aquell fet és fals.

Queda encara un gran camí per recórrer en recerca de mètodes que facin eficient la implementació de bases de dades bitemporals.

❸ Per què utilitzar bases de dades bitemporals?

Actualment, degut principalment, al segon problema plantejat, la modelització de les organitzacions necessiten bases de dades bitemporals, però no les fan servir.

Per tant, per poder assolir una viabilitat comercial cal que, en primer lloc, es millorin els SGBD temporals i, en segon lloc, cal arribar a entendre que els sistemes que s'utilitzen actualment per sortir del pas i emmagatzemar informació temporal, poden ser millorats amb la utilització de bases de dades bitemporals. A més, una base de dades bitemporal no és necessària per tot. Una base de dades convencional no és més que un cas particular de base de dades bitemporal, i poden conviure totes dues, a l'hora de modelitzar una organització.

10.- Conclusions.

Les bases de dades temporals són necessàries per modelitzar la realitat de la forma més fidel possible, i dins d'aquestes les bases de dades bitemporals són les que ens permeten interpretar millor les dades dins del context del temps.

En bases de dades bitemporals hi ha un gran camp obert d'investigació que, estem segurs, rebrà un gran impuls en els propers anys.

Alguns dels camps oberts en bases de dades bitemporals, per a futura recerca, podrien ser:

- ◆ Millorar els llenguatges de consulta per a bases de dades bitemporals.
- ◆ Treballar en el disseny físic de bases de dades bitemporals, actualment, mínimament tractat.
- ◆ Tractar el problema del control de concurrència i recuperació per a bases de dades bitemporals.
- ◆ Incorporar temps vàlid i temps de transacció en bases de dades orientades a objectes.
- ◆ Incorporar temps vàlid i temps de transacció en bases de dades deductives.

11.- Bibliografia.

- [All83] Allen, J.F. "Maintaining knowledge about temporal intervals". Communications of the ACM. 1983. Volum 26. Num 11.
- [BZ82] Ben-Zvi, J. "The time relational model". Ph. D. dissertation. Computer Science Department. UCLA. 1982.
- [Cho93] Chomicki, J. "Temporal databases". Proc. of the 12th. ACM-SIGACT-SIGMOD-SIGART Symposium on Principles of Databases Systems. Maig, 1993.
- [Gad92] Gadia, S.K. "A seamless generic extension of SQL for querying temporal data". Technical report TR-92-02. Computer Science Department. Iowa State University. Març, 1992.
- [JCG+92] Jensen, C.S.; Clifford, J.; Gadia, S.K.; Segev, A.; Snodgrass, R.T. "A glossary of temporal database concepts". Proc. SIGMOD-RECORD. Volum 21. 1992.
- [JSS93] Jensen, C.S.; Soo, M.D.; Snodgrass, R.T. "Unification of temporal data models". Proc. of the IEEE Int. Conf. on Data Engineering'93.
- [Kli93] Kline, N. "An update of the temporal database bibliography". Proc. SIGMOD-RECORD. Volum 22. Número 4. Desembre, 1993.
- [SA86] Snodgrass, R.; Ahn, I. "Temporal databases". IEEE Computer. Setembre, 1986.
- [Ser80] Sernadas, A. "Temporal aspects of logical procedure definition". Information Systems. 1980.
- [Sno90] Snodgrass, R. T. "Temporal databases. Status and research directions". ACM-SIGMOD Record. Volum 19. Número 4. Desembre, 1990.

- [TC90] Tuzhilin, A.; Clifford, J. "A temporal relational algebra as a basis for temporal relational completeness". In International Conference on Very Large Data Bases'90.
- [TCG+93] Tansel, A.U.; Clifford, J.; Gadia, S.; Jajodia, S.; Segev, A.; Snodgrass, R. "Temporal databases: theory, design and implementation". Benjamin/Cummings. 1993.

Departament de Llenguatges i Sistemes Informàtics
Universitat Politècnica de Catalunya

Research Reports – 1994

- LSI-94-1-R “Logspace and logtime leaf languages”, Birgit Jenner, Pierre McKenzie, and Denis Thérien.
- LSI-94-2-R “Degrees and reducibilities of easy tally sets”, Montserrat Hermo.
- LSI-94-3-R “Isothetic polyhedra and monotone boolean formulae”, Robert Juan-Arinyo.
- LSI-94-4-R “Una modelizaciòn de la incompletitud en los programas” (written in Spanish), Javier Pérez Campo.
- LSI-94-5-R “A multiple shooting vectorial algorithm for progressive radiosity”, Blanca Garcia and Xavier Pueyo.
- LSI-94-6-R “Construction of the Face Octree model”, Núria Pla-Garcia.
- LSI-94-7-R “On the expected depth of boolean circuits”, Josep Díaz, María J. Serna, Paul Spirakis, and Jacobo Torán.
- LSI-94-8-R “A transformation scheme for double recursion”, José L. Balcázar.
- LSI-94-9-R “On architectures for federated DB systems”, Fèlix Saltor, Benet Campderrich, and Manuel García-Solaco.
- LSI-94-10-R “Relative knowledge and belief: SKL preferred model frames”, Matías Alvarado.
- LSI-94-11-R “A top-down design of a parallel dictionary using skip lists”, Joaquim Gabarró, Conrado Martínez, and Xavier Messeguer.
- LSI-94-12-R “Analysis of an optimized search algorithm for skip lists”, Peter Kirschenhofer, Conrado Martínez, and Helmut Prodinger.
- LSI-94-13-R “Bases de dades intemporals” (written in Catalan), Carme Martín and Jaume Sistac.

Copies of reports can be ordered from:

Nuria Sánchez
Departament de Llenguatges i Sistemes Informàtics
Universitat Politècnica de Catalunya
Pau Gargallo, 5
08028 Barcelona, Spain
secrelsi@lsi.upc.es