UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Departament de llenguatges i sistemes informàtics

ACTUALITZACIÓ CONSISTENT DE BASES DE DADES DEDUCTIVES

Autor: Enric Mayol Sarroca
Director: Ernest Teniente i López

Barcelona, 2000

3. Base de Dades Augmentada A(D)

La base de dades augmentada A(D) és l'extensió d'una base de dades deductiva D, a la qual s'hi incorporen dos tipus de regles: *les regles de transició* i *les regles d'esdeveniment.* El mètode proposat en aquesta tesi es basa en la utilització d'aquestes regles i, per tant, cal conèixer com s'obtenen, com es defineixen i com es poden interpretar aquestes regles.

La descripció de la base de dades augmentada A(D), feta en aquest capítol, està basada en el treball presentat a la tesi doctoral [Urp93], on es descriu detalladament el mecanisme de generació i simplificació de les regles de transició i d'esdeveniment. De totes formes, en aquest capítol presentem unes reescriptures i simplificacions addicionals d'aquestes regles que ens seran especialment útils de cara a l'ús particular que el nostre mètode fa de les regles.

A les seccions 3.1, 3.2 i 3.3 es defineixen respectivament els conceptes d'esdeveniment, de regla de transició i de regla d'esdeveniment. Aquests són conceptes clau per tal de definir, en la secció 3.4, el concepte de Base de Dades Augmentada A(D) i analitzar algunes de les seves característiques.

3.1 Esdeveniments

En aquesta secció es defineix el concepte *d'esdeveniment,* concepte clau en el nostre enfocament, ja que es fa servir per a modelitzar les actualitzacions o canvis que es produeixen en la base de dades D.

Sigui D^o una base de dades, U una actualització composada per un conjunt de fets bàsics que es volen inserir, esborrar o modificar, i D^n la base de dades resultant de l'aplicació de U sobre D^o. Llavors, diem que U indueix una transició des de l'estat antic de D (D^o) fins al seu nou estat D^n.

A causa de l'existència de predicats derivats i de les seves regles de derivació, l'actualització U pot induir actualitzacions o canvis en l'extensió dels predicats derivats. Sigui P un predicat de la base de dades, i P^o i P^n l'avaluació de P a l'estat antic i el nou estat de la base de dades (D^o i D^n), respectivament. Suposant que $P^o(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x})$ és cert en D^o, on **k** i **x** són vectors de constants, en el nou estat D^n es poden donar tres situacions:

a.1- $P^n(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x})$ és cert

a.2- $\neg \exists\, \mathbf{y}$ tal que $P^n(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{y})$ sigui cert

a.3- $\exists\, \mathbf{x'}$ tal que $P^n(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x'})$ és cert i $\mathbf{x} \neq \mathbf{x'}$

Per altra banda, suposant que $P^n(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x})$ és cert en D^n, ens podem trobar també amb tres situacions respecte a l'estat antic D^o:

b.1- $P^o(\underline{k}, x)$ era cert a D^o

b.2- $\neg \exists$ y tal que $P^o(\underline{k}, y)$ fos cert a D^o

b.3- $\exists$ x' tal que $P^o(\underline{k}, x')$ era cert a D^o i $x \neq x'$

En el cas a.2 diem que s'ha produït l'esborrat de $P(\underline{k}, x)$ durant la transició i ho representem amb un esdeveniment d'esborrat $\delta P(\underline{k}, x)$. En el cas b.2 diem que s'ha produït la inserció del fet $P(\underline{k}, x)$ i ho representem amb l'esdeveniment $\iota P(\underline{k}, x)$. En els casos a.3 i b.3 diem que s'ha produït una modificació del fet $P(\underline{k}, x)$ i ho representem amb els esdeveniments de modificació $\mu P(\underline{k}, x, x')$ i $\mu P(\underline{k}, x', x)$, respectivament. En els casos a.1 i b.1 no hi ha hagut cap canvi sobre $P(\underline{k}, x)$.

Definició 3.1: Sigui $P(\underline{k}, x)$ un predicat derivat o d'inconsistència de la base de dades on **k**, **x** són vectors de variables. Llavors, podem definir *l'esdeveniment d'inserció* $\iota P(\underline{k}, x)$, *l'esdeveniment d'esborrat* $\delta P(\underline{k}, x)$ i *l'esdeveniment de modificació* $\delta P(\underline{k}, x, x')$ de la manera següent:

(1) $\forall k, x\ (\iota P(\underline{k}, x) \leftrightarrow P^n(\underline{k}, x) \wedge \neg \exists\ y\ P^o(\underline{k}, y))$

(2) $\forall k, x\ (\delta P(\underline{k}, x) \leftrightarrow P^o(\underline{k}, x) \wedge \neg \exists\ y\ P^n(\underline{k}, y))$

(3) $\forall k, x, x'\ (\mu P(\underline{k}, x, x') \leftrightarrow P^o(\underline{k}, x) \wedge P^n(\underline{k}, x') \wedge x \neq x')$

Observi's que les definicions (1) i (2) són també aplicables pels predicats sense arguments no clau $P(\underline{k})$. En canvi, l'esdeveniment de modificació solament és aplicable als predicats amb arguments no clau $P(\underline{k}, x)$.

La modificació dels arguments clau **k** d'un predicat es representa per l'ocurrència d'un esdeveniment d'esborrat $\delta P(\underline{k}, x)$ seguit de l'esdeveniment d'inserció $\iota P(\underline{k}', x)$.

En el nostre enfocament, fem la suposició que tot estat de base de dades és sempre consistent, en el sentit que se satisfan totes les restriccions d'integritat. Així doncs, un esdeveniment especialment rellevant en el nostre enfocament és l'esdeveniment d'inserció $\iota P(\underline{k}, x)$ d'un predicat d'inconsistència $P(\underline{k}, x)$, ja que aquest esdeveniment representa una violació de la restricció d'integritat associada.

A partir de la definició dels esdeveniments anteriors i de les restriccions de clau d'un predicat, podem deduir diverses informacions especialment rellevants per a la definició del mètode que proposem en aquesta tesi. Per una banda, establirem quin són els prerequisits que ha de satisfer tota base de dades (estat antic) per tal que s'hi pugui aplicar un esdeveniment. Per l'altra, determinarem quan dos esdeveniments no poden ocórrer en un mateix estat de la base de dades, és a dir, quan aquests dos esdeveniments són mútuament exclusius.

Definició 3.2: Sigui $P(\underline{k}, x)$ un predicat de la base de dades i $\iota P(\underline{k}, x)$, $\delta P(\underline{k}, x)$ i $\mu P(\underline{k}, x, x')$ els esdeveniments associats d'inserció, esborrat i modificació, respectivament. Els *prerequisits* que ha de satisfer l'estat antic de la base de dades per tal de poder aplicar-hi cada un dels esdeveniments anteriors venen definits per les implicacions següents:

(4) $\forall \mathbf{k}, \mathbf{x}\ (\iota P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}) \rightarrow \neg \exists\ \mathbf{y}\ P^{o}(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{y}))$

(5) $\forall \mathbf{k}, \mathbf{x}\ (\delta P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}) \rightarrow P^{o}(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}))$

(6) $\forall \mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}\ (\mu P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \rightarrow P^{o}(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}) \wedge \mathbf{x} \neq \mathbf{x'})$

Definició 3.3: Sigui $P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x})$ un predicat de la base de dades i $\iota P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x})$, $\delta P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x})$ i $\mu P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}, \mathbf{x'})$ els esdeveniments associats d'inserció, esborrat i modificació, respectivament. Direm que dos esdeveniments del mateix predicat $P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x})$ són *mútuament exclusius*, quan no poden ocórrer en el mateix estat de la base de dades. L'exclusivitat entre esdeveniments ve definida per les implicacions següents:

$$\forall \mathbf{k}, \mathbf{x}\ (\iota P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}) \rightarrow \neg \exists\ \mathbf{y}\ \delta P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{y}))$$
$$\forall \mathbf{k}, \mathbf{x}\ (\iota P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}) \rightarrow \neg \exists\ \mathbf{y}, \mathbf{y'}\ \mu P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{y}, \mathbf{y'}))$$
$$\forall \mathbf{k}, \mathbf{x}\ (\iota P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}) \rightarrow \neg \exists\ \mathbf{y}\ (\iota P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{y}) \wedge \mathbf{x} \neq \mathbf{y})$$
$$\forall \mathbf{k}, \mathbf{x}\ (\delta P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}) \rightarrow \neg \exists\ \mathbf{y}\ \iota P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{y}))$$
$$\forall \mathbf{k}, \mathbf{x}\ (\delta P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}) \rightarrow \neg \exists\ \mathbf{y}, \mathbf{y'}\ \mu P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{y}, \mathbf{y'}))$$
$$\forall \mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}\ (\mu P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \rightarrow \neg \exists\ \mathbf{y}\ \delta P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{y}))$$
$$\forall \mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}\ (\mu P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \rightarrow \neg \exists\ \mathbf{y}\ \iota P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{y}))$$
$$\forall \mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}\ (\mu P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \rightarrow \neg \exists\ \mathbf{y}\ \mu P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}, \mathbf{y}) \wedge \mathbf{x'} \neq \mathbf{y})$$

Observi's que dos esdeveniments d'un mateix predicat $P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x})$ es consideren mútuament exclusius, i per tant, no poden ocórrer a la vegada per dues raons principals:

- Perquè no hi ha cap estat de la base de dades que satisfaci els requeriments dels dos esdeveniments conjuntament, per exemple, $\iota P(\underline{\mathbf{A}}, \mathbf{1})$ i $\delta P(\underline{\mathbf{A}}, \mathbf{2})$.
- Perquè l'ocurrència d'un d'ells impedeix l'ocurrència de l'altre, per exemple, $\mu P(\underline{\mathbf{B}}, \mathbf{1}, \mathbf{2})$ i $\mu P(\underline{\mathbf{B}}, \mathbf{1}, \mathbf{3})$; o per exemple, $\mu P(\underline{\mathbf{C}}, \mathbf{1}, \mathbf{2})$ i $\delta P(\underline{\mathbf{C}}, \mathbf{1})$.

Una de les primeres diferències entre la base de dades augmentada definida a [Urp93] i la base de dades augmentada descrita en aquest capítol, fa referència a la definició dels axiomes de transició. Tenint en compte la definició dels esdeveniments (1), (2) i (3) es pot definir la relació que hi ha entre el nou estat de la base de dades i l'estat antic mitjançant els esdeveniments induïts durant la transició entre els dos estats.

A [Urp93] es defineixen els axiomes de transició següents:

(7) $\forall \mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}(P^{n}(\underline{\mathbf{k}},\mathbf{x}) \leftrightarrow (P^{o}(\underline{\mathbf{k}},\mathbf{x}) \wedge \neg\delta P(\underline{\mathbf{k}},\mathbf{x}) \wedge \neg\mu P(\underline{\mathbf{k}},\mathbf{x},\mathbf{x'})) \vee \iota P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}) \vee \mu P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x'}, \mathbf{x}))$

(8) $\forall \mathbf{k},\mathbf{x},\mathbf{x'}(\neg P^{n}(\underline{\mathbf{k}},\mathbf{x}) \leftrightarrow (\neg P^{o}(\underline{\mathbf{k}},\mathbf{x}) \wedge \neg\iota P(\underline{\mathbf{k}},\mathbf{x}) \wedge \neg\ \mu P(\underline{\mathbf{k}},\mathbf{x'},\mathbf{x})) \vee \delta P(\underline{\mathbf{k}},\mathbf{x}) \vee \mu P(\underline{\mathbf{k}},\mathbf{x},\mathbf{x'}))$

En el nostre treball, ens basem amb aquesta definició dels axiomes per a estendre-la incloent-hi explícitament els prerequisits associats a cada esdeveniment identificats a la definició 3.2. Així doncs, en lloc d'utilitzar directament els axiomes de transició definits a [Urp93], en aquesta tesi utilitzarem una extensió dels mateixos.

Definició 3.4: Sigui D una base de dades i $P(\underline{k}, x)$ un predicat. Siguin $\iota P(\underline{k}, x)$, $\delta P(\underline{k}, x)$ i $\mu P(\underline{k}, x, x')$ els esdeveniments associats d'inserció, esborrat i modificació, respectivament; i $P^o(\underline{k}, x)$ i $P^n(\underline{k}, x)$ l'avaluació del predicat $P(\underline{k}, x)$ en l'estat antic D^o i el nou estat D^n de la base de dades, respectivament. Llavors, podem definir els *axiomes de transició* entre dos estats de la base de dades de la forma següent:

(9) $\forall \mathbf{k}, x, x' \; (P^n(\underline{k}, x) \leftrightarrow (P^o(\underline{k}, x) \wedge \neg\, \delta P(\underline{k}, x) \wedge \neg\, \mu P(\underline{k}, x, x')) \vee$

$(\neg\, \exists\, y\; P^o(\underline{k}, y) \wedge \iota P(\underline{k}, x)) \vee$

$(P^o(\underline{k}, x') \wedge \mu P(\underline{k}, x', x) \wedge x \neq x'))$

(10) $\forall \mathbf{k}, x, x' \; (\neg P^n(\underline{k}, x) \leftrightarrow (\neg P^o(\underline{k}, x) \wedge \neg\, \iota P(\underline{k}, x) \wedge \neg\, \mu P(\underline{k}, x', x)) \vee$

$(P^o(\underline{k}, x) \wedge \delta P(\underline{k}, x)) \vee$

$(P^o(\underline{k}, x) \wedge \mu P(\underline{k}, x, x') \wedge x \neq x'))$

3.2 Regles de transició

Sigui P un predicat derivat o d'inconsistència. La definició de P consisteix en les regles deductives de la base de dades que tenen P com a conclusió. En el cas de tenir un predicat derivat definit per m ($m \geq 1$) regles de derivació, ens serà útil, per als nostres propòsits, canviar el nom del predicat P en la conclusió de les m regles per $P_1, \ldots, P_m$ i afegir el conjunt de clàusules:

$P \leftarrow P_i \quad$ amb $i = 1 \ldots m$

Observi's que aquesta reescriptura de regles no modifica la definició final del predicat P.

Exemple 3.1: Considerem la base de dades deductiva de l'exemple 2.1. El predicat derivat 'Nòmina' està definit per més d'una regla deductiva (m=2), per tant, caldrà aplicar-hi la transformació anterior. En canvi, la resta de predicats derivats i restriccions d'integritat no requereixen aquesta transformació. La nova base de dades deductiva resultant és la següent:

$\text{Nòmina}(\underline{p}, c) \leftarrow \text{Nòmina}_1(\underline{p}, c)$

$\text{Nòmina}\ (\underline{p}, c) \leftarrow \text{Nòmina}_2(\underline{p}, c)$

$\text{Nòmina}_1(\underline{p}, c) \leftarrow \text{Prop}(\underline{p}, c)$

$\text{Nòmina}_2(\underline{p}, c) \leftarrow \text{Treb}(\underline{p}, c) \wedge \neg\, \text{Baixa}(\underline{p})$

$\text{Emp}(\underline{p}, c) \leftarrow \text{Treb}(\underline{p}, c) \wedge \text{Cont}(\underline{p}, c)$

$\text{Actiu}(\underline{p}) \leftarrow \text{Emp}(\underline{p}, c) \wedge \neg\, \text{Baixa}(\underline{p})$

$Contractat(\underline{p}) \leftarrow Cont(\underline{p}, c)$

$Ic_1(\underline{p}, c) \leftarrow Emp(\underline{p}, c) \wedge \neg\, Edat(\underline{p})$

$Ic_2(\underline{p}, c, s) \leftarrow Sou(\underline{p}, c, s) \wedge \neg\, Treb(\underline{p}, c)$

$Ic_3(\underline{p}, n) \leftarrow Numss(\underline{p}, n) \wedge \neg\, Contractat(\underline{p})$

□

Sigui P un predicat derivat o d'inconsistència. Considerem una de les regles de derivació que el defineixen: $P_i(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}) \leftarrow L_1 \wedge \ldots \wedge L_n$. L'avaluació d'aquesta regla en el nou estat de la base de dades és $P^n_i(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}) \leftarrow L^n_1 \wedge \ldots \wedge L^n_n$ on cada L^n_r (r=1...n) s'obté substituint el predicat Q de L_r per Q^n. Si substituïm cada literal del cos L^n_r per la definició de l'axioma de transició corresponent (9) o (10) obtindrem la regla de transició que defineix P^n_i (nou estat) en funció dels predicats de l'estat antic i dels esdeveniments.

En el cas que L^n_r és un literal ordinari positiu $Q^n_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r})$, apliquem (9) i el substituïm per l'expressió:

$$(Q^o_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r}) \wedge \neg\, \delta Q_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r}) \wedge \neg\, \mu Q_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r}, \mathbf{x_r}')) \vee$$
$$(\neg\, \exists y\ Q^o_r(\underline{\mathbf{k_r}}, y) \wedge \iota Q_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r})) \vee$$
$$(Q^o_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r}') \wedge \mu Q_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r}', \mathbf{x_r}) \wedge \mathbf{x_r}' \neq \mathbf{x_r}))$$

en canvi, si L^n_r és un literal ordinari negatiu $\neg Q^n_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r})$, apliquem (10) i el substituïm per:

$$(\neg\, Q^o_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r}) \wedge \neg\, \iota Q_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r}) \wedge \neg\, \mu Q_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r}', \mathbf{x_r})) \vee$$
$$(Q^o_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r}) \wedge \delta Q_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r})) \vee$$
$$(Q^o_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r}) \wedge \mu Q_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r}, \mathbf{x_r}') \wedge \mathbf{x_r} \neq \mathbf{x_r}'))$$

però, en el cas que L^n_r és un literal avaluable, el substituiríem per la seva avaluació en l'estat antic L^o_r.

Les diferents formes d'establir que un literal L^n_r és cert, en termes de l'estat antic i dels esdeveniments, es poden expressar amb les expressions $U^*(L^n_r)$, $I^*(L^n_r)$ i $M^*(L^n_r)$ següents:

(11) $U^*(L^n_r) = Q^o_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r}) \wedge \neg\, \delta Q_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r}) \wedge \neg\, \mu Q_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r}, \mathbf{x_r}')$ $\quad L^n_r = Q^n_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r})$

$= \neg\, Q^o_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r}) \wedge \neg\, \iota Q_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r}) \wedge \neg\, \mu Q_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r}', \mathbf{x_r})$ $\quad = \neg\, Q^n_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r})$

$= L^o_r$ $\quad$ avaluable

(12) $I^*(L^n_r) = \neg\, \exists y\ Q^o_r(\underline{\mathbf{k_r}}, y) \wedge \iota Q_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r})$ $\quad L^n_r = Q^n_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r})$

$= Q^o_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r}) \wedge \delta Q_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r})$ $\quad = \neg\, Q^n_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r})$

(13) $M^*(L^n_r) = Q^o_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r}') \wedge \mu Q_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r}', \mathbf{x_r}) \wedge \mathbf{x_r}' \neq \mathbf{x_r}$ $\quad L^n_r = Q^n_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r})$

$= Q^o_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r}) \wedge \mu Q_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r}, \mathbf{x_r}') \wedge \mathbf{x_r} \neq \mathbf{x_r}'$ $\quad = \neg\, Q^n_r(\underline{\mathbf{k_r}}, \mathbf{x_r})$

L'expressió $U^*(L^n_r)$ correspon al cas en que L^n_r no canvia durant la transició (*Unchanged*, en anglès), $I^*(L^n_r)$ correspon al cas en que L^n_r és inserit (*Inserted*, en anglès) i, $M^*(L^n_r)$ correspon al cas en que L^n_r ha estat modificat durant la transició (*Modified*, en anglès). Aquestes expressions són equivalents a les expressions $U(L^n_r)$, $I(L^n_r)$ i $M(L^n_r)$ definides a [Urp93] però tenint en compte la nova definició dels axiomes de transició.

Definició 3.5: Sigui $P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x})$ un predicat derivat o d'inconsistència de la base de dades definit per m regles de derivació. Per a cada predicat $P_i(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x})$ ($i = 1 \ldots m$) associat a cada una de les regles de derivació, es defineixen les *regles de transició* següents:

$$(14) \quad P^n_i(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \leftarrow P^n_{i,j}(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \qquad j = 1 \ldots \alpha$$

$$P^n_{i,j}(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \leftarrow \wedge^n_{r=1} [U^*(L^n_r) \mid I^*(L^n_r) \mid M^*(L^n_r)] \qquad j = 1 \ldots \alpha$$

Amb $\alpha = 3^{nk_i} * 2^{k_i}$, on nk_i es correspon al nombre de literals ordinaris de la regla de derivació del predicat $P_i(\mathbf{k}, \mathbf{x})$ amb arguments no clau, i k_i es correspon al nombre de literals ordinaris amb només arguments clau.

Suposem que del conjunt de regles de transició obtingudes, la regla corresponent a $j=1$ és sempre la següent: $P^n_{i,1}(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \leftarrow U^*(L^n_1) \wedge \ldots \wedge U^*(L^n_n)$.

Exemple 3.2: Les regles de transició associades al predicat derivat 'Nòmina' de la base de dades de l'exemple 3.1 són les següents:

$\text{Nòmina}^n_1(\underline{p}, c) \leftarrow \text{Nòmina}^n_{1,j}(\underline{p}, c)$ $\quad j=1\ldots3$

$\text{Nòmina}^n_2(\underline{p}, c) \leftarrow \text{Nòmina}^n_{2,j}(\underline{p}, c)$ $\quad j=1\ldots6$

$\text{Nòmina}^n_{1,1}(\underline{p}, c) \leftarrow \text{Prop}(\underline{p}, c) \wedge \neg\delta\text{Prop}(\underline{p}, c) \wedge \neg\mu\text{Prop}(\underline{p}, c, c1)$

$\text{Nòmina}^n_{1,2}(\underline{p}, c) \leftarrow \neg\text{Prop}(\underline{p}, c1) \wedge \iota\text{Prop}(\underline{p}, c)$

$\text{Nòmina}^n_{1,3}(\underline{p}, c) \leftarrow \text{Prop}(\underline{p}, c1) \wedge \mu\text{Prop}(\underline{p}, c1, c) \wedge c1 \neq c$

$\text{Nòmina}^n_{2,1}(\underline{p}, c) \leftarrow \text{Treb}(\underline{p}, c) \wedge \neg\delta\text{Treb}(\underline{p}, c) \wedge \neg\mu\text{Treb}(\underline{p}, c, c1) \wedge \neg\text{Baixa}(\underline{p}) \wedge \neg\iota\text{Baixa}(\underline{p})$

$\text{Nòmina}^n_{2,2}(\underline{p}, c) \leftarrow \text{Treb}(\underline{p}, c) \wedge \neg\delta\text{Treb}(\underline{p}, c) \wedge \neg\mu\text{Treb}(\underline{p}, c, c1) \wedge \text{Baixa}(\underline{p}) \wedge \delta\text{Baixa}(\underline{p})$

$\text{Nòmina}^n_{2,3}(\underline{p}, c) \leftarrow \neg\text{Treb}(\underline{p}, c1) \wedge \iota\text{Treb}(\underline{p}, c) \wedge \neg\text{Baixa}(\underline{p}) \wedge \neg\iota\text{Baixa}(\underline{p})$

$\text{Nòmina}^n_{2,4}(\underline{p}, c) \leftarrow \neg\text{Treb}(\underline{p}, c1) \wedge \iota\text{Treb}(\underline{p}, c) \wedge \text{Baixa}(\underline{p}) \wedge \delta\text{Baixa}(\underline{p})$

$\text{Nòmina}^n_{2,5}(\underline{p}, c) \leftarrow \text{Treb}(\underline{p}, c1) \wedge \mu\text{Treb}(\underline{p}, c1, c) \wedge c1 \neq c \wedge \neg\text{Baixa}(\underline{p}) \wedge \neg\iota\text{Baixa}(\underline{p})$

$\text{Nòmina}^n_{2,6}(\underline{p}, c) \leftarrow \text{Treb}(\underline{p}, c1) \wedge \mu\text{Treb}(\underline{p}, c1, c) \wedge c1 \neq c \wedge \text{Baixa}(\underline{p}) \wedge \delta\text{Baixa}(\underline{p})$

Es pot comprovar, en aquest exemple, que algunes de les regles de transició obtingudes no són permissibles, degut a la presència d'alguns literals negatius en el cos. Aquesta situació és resol amb una transformació simple. Per exemple, a la regla $\text{Nòmina}^n_{2,1}(\underline{p}, c)$ substituiríem el literal $\neg\mu\text{Treb}(\underline{p}, c, c1)$ pel literal $\neg\text{Aux}(\underline{p}, c)$ i definiríem el predicat auxiliar $\text{Aux}(\underline{p}, c) \leftarrow \mu\text{Treb}(\underline{p}, c, c1)$.

□

3.3 Regles d'esdeveniment

A partir de les definicions d'esdeveniment d'inserció (1), d'esborrat (2) i de modificació (3) de la secció anterior, i tenint en compte la definició de regles de transició (14), podem definir les regles d'esdeveniment. Aquest conjunt de regles permeten calcular quins esdeveniments de predicats derivats i de predicats d'inconsistència es poden induir durant la transició des de l'estat antic al nou estat de la base de dades.

Així doncs, donat un predicat derivat o d'inconsistència P, definirem les regles d'esdeveniment d'inserció que permetran deduir quins fets del predicat P s'han inserit durant la transició; les regles d'esdeveniment d'esborrat ens permetran deduir quin fets de P s'han esborrat i les regles d'esdeveniment de modificació permetran deduir a quins fets de P s'ha modificat algun argument no clau durant la transició.

En les tres seccions següents, es presenta la definició de les regles d'esdeveniment presentades a [Urp93] i la reescriptura que proposem de les mateixes. En el nostre cas, la definició d'aquestes regles d'esdeveniment segueix essent vàlida. Però, per als nostres propòsits, proposem una reescriptura d'aquestes regles d'esdeveniment. Aquesta reescriptura permetrà que el nostre mètode, al considerar aquestes noves regles, no generi solucions redundants que es poden obtenir considerant les mateixes regles definides segons [Urp93].

Aquesta reescriptura solament s'aplica a les regles d'esdeveniment dels predicats derivats o d'inconsistència que estan definits per més d'una regla de derivació ($m>1$).

La reescriptura que proposem d'aquestes regles d'esdeveniment (pels casos en que $m>1$), està orientada a definir una regla d'esdeveniment d'inserció, d'esborrat o de modificació específica per a cada possible estat de la base de dades en que es pot aplicar l'esdeveniment associat. Així doncs, tindrem una regla d'esdeveniment d'inserció $\iota P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x})$ (esborrat / modificació) específica per a cada possible alternativa d'aconseguir $\neg\exists$ **y** $P^o(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{y})$ ($P^o(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x})$) tenint en compte els predicats $P^o_i(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x})$.

En les seccions següents presentarem la definició de la regla d'esdeveniment d'inserció, d'esborrat i de modificació, respectivament, segons [Urp93] i la seva redefinició tenint en compte la reescriptura aplicada.

3.3.1 Regles d'esdeveniment d'inserció

Sigui P un predicat derivat o d'inconsistència. Els esdeveniments d'inserció del predicat P s'han definit a (1) de la manera següent:

$$\forall \mathbf{k}, \mathbf{x}\ (\iota P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}) \leftrightarrow P^n(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}) \wedge \neg \exists\ \mathbf{y}\ P^o(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{y}))$$

Si el predicat P està definit per $m \geq 1$ regles, aleshores tenim [Urp93]:

$$\iota P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}) \leftarrow P^n_i(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}) \wedge\neg\exists\ \mathbf{y}\ P^o_1(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{y}) \wedge \ldots \wedge\neg\exists\ \mathbf{y}\ P^o_i(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{y}) \wedge \ldots \wedge\neg\exists\ \mathbf{y}\ P^o_m(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{y}) \qquad i=1\ldots m$$

Observi's que la conjunció dels literals $P^n{}_i(\underline{k}, x) \wedge \neg\exists y P^o{}_i(\underline{k}, y)$ es correspon a la definició de l'esdeveniment d'inserció $\iota P_i(\underline{k}, x)$. Tenint en compte la definició dels axiomes de transició (9) i (10), en comptes de la definició dels mateixos de [Urp93] ((7) i (8)), obtenim les regles següents:

$$(15)\quad \iota P(\underline{k}, x) \leftarrow \iota P_i(\underline{k}, x) \wedge \neg\exists y P^o{}_1(\underline{k}, y) \wedge \ldots \wedge \neg\exists y P^o{}_{i-1}(\underline{k}, y) \wedge \neg\exists y P^o{}_i(\underline{k}, y) \wedge \neg\exists y P^o{}_{i+1}(\underline{k}, y) \wedge \ldots \wedge \neg\exists y P^o{}_m(\underline{k}, y) \qquad i = 1 \ldots m$$

$$(16)\quad \iota P_i(\underline{k}, x) \leftarrow P^n{}_i(\underline{k}, x) \wedge \neg\exists\, y\, P^o{}_i(\underline{k}, y) \qquad i = 1 \ldots m$$

Es pot observar que el literal $\neg\exists y P^o{}_i(\underline{k}, y)$ no ha estat eliminat del cos de la regla (15) ja que aquest literal es correspon al prerequisit imposat per l'esdeveniment d'inserció que ens interessa mantenir explícit en la definició de la regla. Per tant, la redefinició de les regles d'esdeveniment d'inserció que proposem és la següent:

Les regles (15) i (16) s'anomenen *regles d'esdeveniment d'inserció* del predicat P i P_i, respectivament. A [Urp93] es defineix de forma detallada com aquestes regles poden ser simplificades.

Exemple 3.3: En aquest exemple, es mostren les regles d'esdeveniment d'inserció obtingudes pel predicat derivat Nòmina i el predicat d'inconsistència Ic1 de l'exemple 3.1:[1]

ιNòmina(p,c) $\leftarrow \neg$Nòmina$_1$(p,c1) $\wedge$ ιNòmina$_1$(p,c) $\wedge \neg$Nòmina$_2$(p,c1)

ιNòmina(p,c) $\leftarrow \neg$Nòmina$_2$(p,c1) $\wedge$ ιNòmina$_2$(p,c) $\wedge \neg$Nòmina$_1$(p,c1)

ιNòmina$_1$(p,c) $\leftarrow \neg$Nòmina$_1$(p,c1) $\wedge$ Nòmina$^n{}_1$(p,c)

ιNòmina$_2$(p,c) $\leftarrow \neg$Nòmina$_2$(p,c1) $\wedge$ Nòmina$^n{}_2$(p,c)

Però, tenint en compte les regles de transició de l'exemple 3.2 i les simplificacions de [Urp93], obtenim les següents regles d'esdeveniment d'inserció:

ιNòmina(p,c) $\leftarrow \neg$Nòmina$_1$(p,c1) $\wedge$ ιNòmina$_1$(p,c) $\wedge \neg$Nòmina$_2$(p,c1)

ιNòmina(p,c) $\leftarrow \neg$Nòmina$_2$(p,c1) $\wedge$ ιNòmina$_2$(p,c) $\wedge \neg$Nòmina$_1$(p,c1)

ιNòmina$_1$(p,c) $\leftarrow \neg$Prop(p,c1) $\wedge$ ιProp(p,c)

ιNòmina$_2$(p,c) $\leftarrow$ Treb(p,c) $\wedge \neg\delta$Treb(p,c) $\wedge \neg\mu$Treb(p,c,c1) $\wedge$ Baixa(p) $\wedge$ δBaixa(p)

ιNòmina$_2$(p,c) $\leftarrow \neg$Treb(p,c1) $\wedge$ ιTreb(p,c) $\wedge \neg$Baixa(p) $\wedge \neg\iota$Baixa(p)

ιNòmina$_2$(p,c) $\leftarrow \neg$Treb(p,c1) $\wedge$ ιTreb(p,c) $\wedge$ Baixa(p) $\wedge$ δBaixa(p)

ιNòmina$_2$(p,c) $\leftarrow$ Treb(p,c1) $\wedge$ μTreb(p,c1,c) $\wedge$ c1$\neq$c $\wedge$ Baixa(p) $\wedge$ δBaixa(p)

Pel predicat d'inconsistència Ic1(p,c) obtenim les regles d'esdeveniment següents:

---

[1] Observi's que, en aquest i futurs exemples, als literals corresponents a predicats ordinaris avaluats en l'estat antic de la base de dades, els hi hem eliminat el superíndex (^{o}) per tal de simplificar la seva escriptura.

$\iota Ic1(\underline{p},c) \leftarrow Emp(\underline{p},c) \wedge \neg\delta Emp(\underline{p},c) \wedge \neg\mu Emp(\underline{p},c,c1) \wedge Edat(\underline{p}) \wedge \delta Edat(\underline{p})$

$\iota Ic1(\underline{p},c) \leftarrow \neg Emp(\underline{p},c1) \wedge \iota Emp(\underline{p},c) \wedge \neg Edat(\underline{p}) \wedge \neg\iota Edat(\underline{p})$

$\iota Ic1(\underline{p},c) \leftarrow \neg Emp(\underline{p},c1) \wedge \iota Emp(\underline{p},c) \wedge Edat(\underline{p}) \wedge \delta Edat(\underline{p})$

$\iota Ic1(\underline{p},c) \leftarrow Emp(\underline{p},c1) \wedge \mu Emp(\underline{p},c1,c) \wedge Edat(\underline{p}) \wedge \delta Edat(\underline{p})$

□

Observi's que encara que algunes d'aquestes regles d'esdeveniment no són permissibles, a l'exemple 3.6 es mostraran totes les regles d'esdeveniment de l'exemple 3.1 degudament transformades.

De totes les regles d'esdeveniment d'inserció dels predicats definits a la base de dades, les regles associades als predicats d'inconsistència són d'especial interès en el nostre treball. En la generació de les regles d'esdeveniment d'inserció pels predicats d'inconsistència es considera que l'estat antic de la base de dades és consistent, i per tant, se suposa que el predicat Ic^0_i és sempre fals. Aleshores, cada esdeveniment $\iota Ic_i(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x})$ que s'indueix durant la transició es correspon a una violació de la restricció d'integritat associada al predicat d'inconsistència Ic_i. Tenint en compte que existeix el predicat d'inconsistència Ic, caldrà, a més a més, definir les regles d'esdeveniment d'inserció addicionals següents: $\iota Ic \leftarrow \iota Ic_j(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x})$ on l'esdeveniment $\iota Ic_j(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x})$, amb els seus paràmetres, es correspon a l'esdeveniment d'inserció dels predicats d'inconsistència $Ic_j(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x})$ associats a les restriccions d'integritat definides a la base de dades.

A l'exemple anterior, podem observar que les diferents maneres en que es pot violar la restricció $Ic1(\underline{p}, c)$ estan definides per cada una de les regles d'esdeveniment d'inserció $\iota Ic1(\underline{p}, c)$. Per exemple, la tercera d'aquestes regles d'esdeveniment ens indica que la restricció $Ic1(\underline{p}, c)$ es violarà al inserir una persona 'p' com a empleat de l'empresa 'c' i al esborrar, al mateix temps, el fet que aquesta persona té l'edat laboral legal per treballar.

3.3.2 Regles d'esdeveniment d'esborrat

Sigui P un predicat derivat. Els esdeveniments d'esborrat del predicat P s'han definit a (2) de la manera següent:

$$\forall \mathbf{k}, \mathbf{x}\ (\delta P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}) \leftrightarrow P^o(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}) \wedge \neg \exists\ \mathbf{y}\ P^n(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{y}))$$

Si el predicat P està definit per $m \geq 1$ regles, aleshores tenim:

$$\delta P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}) \leftarrow P^o_i(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}) \wedge \neg\exists\ \mathbf{y}\ P^n_1(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{y}) \wedge \ldots \wedge \neg\exists\ \mathbf{y}\ P^n_i(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{y}) \wedge \ldots \wedge \neg\exists \mathbf{y} P^n_m(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{y}) \qquad i=1\ldots m$$

Observi's que la conjunció dels literals $P^o_i(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}) \wedge \neg\exists \mathbf{y} P^n_i(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{y})$ es correspon a la definició de l'esdeveniment d'esborrat $\delta P_i(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x})$. Per tant, segons [Urp93] tenim:

(17) $\delta P(\underline{k}, x) \leftarrow \delta P_i(\underline{k}, x) \wedge \neg\exists y P^n_1(\underline{k}, y) \wedge \ldots \wedge \neg\exists y P^n_{i-1}(\underline{k}, y) \wedge \neg\exists y P^n_{i+1}(\underline{k}, y) \wedge \ldots \wedge \neg\exists y P^n_m(\underline{k}, y)$ $\quad i = 1 \ldots m$

(18) $\delta P_i(\underline{k}, x) \leftarrow P^o_i(\underline{k}, x) \wedge \neg\exists\, y\, P^n_i(\underline{k}, y)$ $\quad i = 1 \ldots m$

Les regles (17) i (18) s'anomenen *regles d'esdeveniment d'esborrat* del predicat P i P_i, respectivament. A [Urp93] es defineix de forma detallada com aquestes regles poden ser simplificades.

En el nostre enfocament, si el predicat P està definit per més d'una regla (m>1) apliquem una reescriptura de les regles (17). Aquesta reescriptura consisteix en substituir els literals $\neg\exists y P^n_j(\underline{k}, y)$ per l'expressió equivalent definida pels axiomes de transició definits a (9) i (10). El nou conjunt de regles d'esdeveniment d'esborrat obtingut és el següent:

(19) $\delta P_j(\underline{k}, x) \leftarrow \wedge^m_{i=1} [P^o_i(\underline{k}, x) \wedge \delta P_i(\underline{k}, x) \mid \neg\exists\, y\, P^o_i(\underline{k}, y) \wedge \neg\, \iota P_i(\underline{k}, z)]$ $\quad j=1\ldots(2^m-1)$

(20) $\delta P_i(\underline{k}, x) \leftarrow P^o_i(\underline{k}, x) \wedge \neg\exists\, y\, P^n_i(\underline{k}, y)$ $\quad i = 1 \ldots m$

A l'annex 1 d'aquest capítol, es pot trobar detallat el procediment de reescriptura de les regles d'esdeveniments d'esborrat (17) al nou format (19).

Exemple 3.4: Les regles d'esdeveniment d'esborrat del predicat derivat Nòmina de l'exemple 3.1 són les següents:

δNòmina($\underline{p}$,c) $\leftarrow$ Nòmina1($\underline{p}$,c) $\wedge$ δNòmina1($\underline{p}$,c) $\wedge$ Nòmina2($\underline{p}$,c) $\wedge$ δNòmina2($\underline{p}$,c)

δNòmina($\underline{p}$,c) $\leftarrow$ Nòmina1($\underline{p}$,c) $\wedge$ δNòmina1($\underline{p}$,c) $\wedge$ $\neg$Nòmina$_2$($\underline{p}$,c1) $\wedge$ $\neg\iota$Nòmina$_2$($\underline{p}$,c1)

δNòmina($\underline{p}$,c) $\leftarrow$ $\neg$Nòmina$_1$($\underline{p}$,c1) $\wedge$ $\neg\iota$Nòmina$_1$($\underline{p}$,c1) $\wedge$ Nòmina$_2$($\underline{p}$,c) $\wedge$ δNòmina$_2$($\underline{p}$,c)

δNòmina$_1$($\underline{p}$,c) $\leftarrow$ Prop($\underline{p}$,c) $\wedge$ δProp($\underline{p}$,c)

δNòmina$_2$($\underline{p}$,c) $\leftarrow$ Treb($\underline{p}$,c) $\wedge$ δTreb($\underline{p}$,c) $\wedge$ $\neg$Baixa($\underline{p}$)

δNòmina$_2$($\underline{p}$,c) $\leftarrow$ Treb($\underline{p}$,c) $\wedge$ $\neg$Baixa($\underline{p}$) $\wedge$ ιBaixa($\underline{p}$)

Observi's que les tres primeres regles de l'esdeveniment δNòmina($\underline{p}$,c) es corresponen a les regles obtingudes segons la definició (19)[2]. La resta s'han obtingut considerant la definició (20). Observi's que encara que algunes d'aquestes regles no són permissibles, a l'exemple 3.6 es mostraran totes les regles d'esdeveniment de l'exemple 3.1 degudament transformades.

□

Pel cas particular en que el predicat P es correspon a un predicat d'inconsistència Ic no s'han definit les regles d'esdeveniment d'esborrat. Com ja s'ha comentat anteriorment, al suposar que l'estat antic és sempre consistent ($Ic^o_i(\underline{k}, x)$ són sempre falsos), aleshores en cap cas es podran induir esdeveniments d'esborrat d'aquest tipus de predicat.

---

[2] Els subíndexos j han estat eliminats per 'uniformitat amb les altres regles d'esdeveniment de l'A(D).

3.3.3 Regles d'esdeveniment de modificació

Sigui P un predicat derivat. Els esdeveniments de modificació del predicat P s'han definit a (3) de la manera següent:

$$\forall \mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{x'} \; (\mu P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \leftrightarrow P^o(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}) \wedge P^n(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x'}) \wedge \mathbf{x} \neq \mathbf{x'})$$

Si el predicat P està definit per $m \geq 1$ regles, aleshores tenim:

$$\mu P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \leftarrow P^o{}_i(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}) \wedge P^n{}_h(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x'}) \wedge \mathbf{x} \neq \mathbf{x'} \qquad i, h = 1 \ldots m$$

Observi's que la conjunció dels literals $P^o{}_i(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}) \wedge P^n{}_i(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x'}) \wedge \mathbf{x} \neq \mathbf{x'}$ es correspon a la definició de l'esdeveniment de modificació del predicat Pi. Per tant, segons [Urp93] tenim:

(21) $\mu P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \leftarrow P^o{}_i(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}) \wedge P^n{}_h(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x'}) \wedge \mathbf{x} \neq \mathbf{x'}$ $\qquad i, h = 1 \ldots m \; (i \neq h)$

(22) $\mu P(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \leftarrow \mu Pi(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}, \mathbf{x'})$ $\qquad i = h = 1 \ldots m$

(23) $\mu P_i(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \leftarrow P^o{}_i(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}) \wedge P^n{}_i(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x'}) \wedge \mathbf{x} \neq \mathbf{x'}$ $\qquad i = 1 \ldots m$

Les regles (21), (22) i (23) s'anomenen *regles d'esdeveniment de modificació* del predicat P i P_i, respectivament. Les regles (21) només estan definides en el cas que m>1. A [Urp93] es defineix de forma detallada com aquestes regles poden ser simplificades.

En el nostre enfocament, si el predicat P està definit per més d'una regla (m>1) apliquem una reescriptura de les regles (21) i (22). Aquesta reescriptura consisteix a tenir en compte els axiomes de transició definits a (9) i (10), i suposar que es compleix la restricció de clau dels predicats P i P_j. El nou conjunt de regles d'esdeveniment de modificació obtingut és el següent:

(24) $\mu P_j(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \leftarrow \wedge^m{}_{r=1} \; [(P^o{}_r(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}) \wedge \delta P_r(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x})) \mid (P^o{}_r(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}) \wedge \mu P_r(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \wedge \mathbf{x} \neq \mathbf{x'})]$

amb $j = 1 \ldots (2^m\text{-}2)$

(25) $\mu P_j(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \leftarrow \wedge^m{}_{r=1} \; [(P^o{}_r(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}) \wedge \delta P_r(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x})) \mid (\neg \exists \, \mathbf{y} \; P^o{}_r(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{y}) \wedge \iota P_r(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x'}) \wedge \mathbf{x} \neq \mathbf{x'}))]$

amb $j = 1 \ldots (2^m\text{-}2)$

(26) $\mu P_j(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \leftarrow \wedge^m{}_{r=1} \; [(P^o{}_r(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}) \wedge \mu P_r(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \wedge \mathbf{x} \neq \mathbf{x'}) \mid (\neg P^o{}_r(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}) \wedge \neg \iota P_r(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{z}))]$

amb $j = 1 \ldots (2^m\text{-}2)$

(27) $\mu P_j(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \leftarrow \wedge^m{}_{r=1} \; [(P^o{}_r(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}) \wedge \mu P_r(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \wedge \mathbf{x'} \neq \mathbf{x})]$ $\qquad$ amb j=1

on les regles d'esdeveniment d'inserció i esborrat de cada P_r (ιP_r, δP_r) es corresponen a les definides anteriorment, i la regles d'esdeveniment de modificació $\mu P_r(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}, \mathbf{x'})$ es defineixen seguint la definició (23):

$$\mu P_r(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \leftarrow P^o{}_r(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x}) \wedge P^n{}_r(\underline{\mathbf{k}}, \mathbf{x'}) \wedge \mathbf{x} \neq \mathbf{x'} \qquad r = 1 \ldots m$$

A l'annex 2 d'aquest capítol, es pot trobar detallat el procediment de reescriptura de les regles d'esdeveniments de modificació (21) i (22) al nou format (24), (25), (26) i (27).

Exemple 3.5: Les regles d'esdeveniment de modificació obtingudes pel predicat Nòmina de l'exemple 3.1 són les següents:

$$\mu\text{Nòmina}(\underline{p},c,c1) \leftarrow \text{Nòmina}_1(\underline{p},c) \wedge \delta\text{Nòmina}_1(\underline{p},c) \wedge \text{Nòmina}_2(\underline{p},c) \wedge \mu\text{Nòmina}_2(\underline{p},c,c1) \wedge c \neq c1$$

$$\mu\text{Nòmina}(\underline{p},c,c1) \leftarrow \text{Nòmina}_1(\underline{p},c) \wedge \mu\text{Nòmina}_1(\underline{p},c,c1) \wedge c \neq c1 \wedge \text{Nòmina}_2(\underline{p},c) \wedge \delta\text{Nòmina}_2(\underline{p},c)$$

$$\mu\text{Nòmina}(\underline{p},c,c1) \leftarrow \text{Nòmina}_1(\underline{p},c) \wedge \delta\text{Nòmina}_1(\underline{p},c) \wedge \neg\text{Nòmina}_2(\underline{p},c2) \wedge \iota\text{Nòmina}_2(\underline{p},c1) \wedge c \neq c1$$

$$\mu\text{Nòmina}(\underline{p},c,c1) \leftarrow \neg\text{Nòmina}_1(\underline{p},c2) \wedge \iota\text{Nòmina}_1(\underline{p},c1) \wedge \text{Nòmina}_2(\underline{p},c) \wedge \delta\text{Nòmina}_2(\underline{p},c) \wedge c \neq c1$$

$$\mu\text{Nòmina}(\underline{p},c,c1) \leftarrow \text{Nòmina}_1(\underline{p},c) \wedge \mu\text{Nòmina}_1(\underline{p},c,c1) \wedge c \neq c1 \wedge \neg\text{Nòmina}_2(\underline{p},c) \wedge \neg\iota\text{Nòmina}_2(\underline{p},c2)$$

$$\mu\text{Nòmina}(\underline{p},c,c1) \leftarrow \neg\text{Nòmina}_1(\underline{p},c) \wedge \neg\iota\text{Nòmina}_1(\underline{p},c2) \wedge \text{Nòmina}_2(\underline{p},c) \wedge \mu\text{Nòmina}_2(\underline{p},c,c1) \wedge c \neq c1$$

$$\mu\text{Nòmina}(\underline{p},c,c1) \leftarrow \text{Nòmina}_1(\underline{p},c) \wedge \mu\text{Nòmina}_1(\underline{p},c,c1) \wedge c \neq c1 \wedge \text{Nòmina}_2(\underline{p},c) \wedge \mu\text{Nòmina}_2(\underline{p},c,c1) \wedge c \neq c1$$

$$\mu\text{Nòmina}_1(\underline{p},c,c1) \leftarrow \text{Prop}(\underline{p},c) \wedge \mu\text{Prop}(\underline{p},c,c1) \wedge c \neq c1$$

$$\mu\text{Nòmina}_2(\underline{p},c,c1) \leftarrow \text{Treb}(\underline{p},c) \wedge \mu\text{Treb}\,(\underline{p},c,c1) \wedge c \neq c1 \wedge \neg\text{Baixa}(\underline{p}) \wedge \neg\iota\text{Baixa}(\underline{p})$$

Observi's que les dues primeres regles d'esdeveniment d'esborrat de $\mu\text{Nòmina}(\underline{p},c,c1)$ es corresponen a l'aplicació de la definició (24), les dues següents s'obtenen segons la definició (25), les dues següents segons (26), i la següent regla es genera considerant el subcas (27)[3]. Les dues darreres regles d'esdeveniment es corresponen als esdeveniments $\mu\text{Nòmina}_1(\underline{p},c,c1)$ i $\mu\text{Nòmina}_2(\underline{p},c,c1)$ i s'obtenen considerant la definició (23). Observi's que encara que algunes d'aquestes regles no són permissibles, a l'exemple 3.6 es mostraran totes les regles d'esdeveniment de l'exemple 3.1 degudament transformades.

□

Pel cas particular dels predicats d'inconsistència Ic_i, no s'han definit les regles d'esdeveniment de modificació per la mateixa raó per la que no es defineixen les regles d'esdeveniment d'esborrat.

3.4 Base de dades Augmentada

La base de dades augmentada és una extensió de la base de dades deductiva D, a la que s'hi han afegit les regles de transició i les regles d'esdeveniment.

---

[3] Els subíndexos j han estat eliminats de tots els casos (24) ... (27).

Definició 3.6: Sigui D una base de dades deductiva, aleshores la *Base de Dades Augmentada A(D)* és aquella base de dades formada per D i les regles de transició i d'esdeveniment dels predicats derivats i d'inconsistència definits a D.

Exemple 3.6: En aquest exemple es mostra la Base de Dades Augmentada A(D) de l'exemple 3.1. En particular, en aquest cas, únicament es mostren la base de dades deductiva (D) i les regles d'esdeveniment associades.

Cada una de les regles s'identifica amb un numero (x) i una lletra segons el criteri següent: (Rx) identifica les regles de derivació; (Fx) els fet bàsics; (Ix) les regles d'esdeveniment d'inserció; (Dx) les regles d'esdeveniment d'esborrat; (Mx) les regles d'esdeveniment de modificació i (Ax) les regles que defineixen un predicat auxiliar[4]. Tota referència a alguna regla de la base de dades augmentada d'aquest exemple es farà tenint en compte aquesta codificació.

(R1)	$Emp(\underline{p},c) \leftarrow Treb(\underline{p},c) \land Cont(\underline{p},c)$	(F1)	Treb(Núria, Za)
(R2)	$Actiu(\underline{p}) \leftarrow Emp(\underline{p},c) \land \neg Baixa(\underline{p})$	(F2)	Cont(Núria, Za)
(R3)	$Contractat(\underline{p}) \leftarrow Cont(\underline{p},c)$	(F3)	Edat(Núria)
(R4)	$Nòmina(\underline{p},c) \leftarrow Nòmina1(\underline{p},c)$	(F4)	Treb(Sílvia, SJD)
(R5)	$Nòmina(\underline{p},c) \leftarrow Nòmina2(\underline{p},c)$	(F5)	Treb(Toni, AIC)
(R6)	$Nòmina1(\underline{p},c) \leftarrow Prop(\underline{p},c)$	(F6)	Cont(Toni, AIC)
(R7)	$Nòmina2(\underline{p},c) \leftarrow Treb(\underline{p},c) \land \neg Baixa(\underline{p})$	(F7)	Edat(Toni)
(R8)	$Ic1(\underline{p},c) \leftarrow Emp(\underline{p},c) \land \neg Edat(\underline{p})$	(F8)	Baixa(Toni)
(R9)	$Ic2(\underline{p},c,s) \leftarrow Sou(\underline{p},c,s) \land \neg Treb(\underline{p},c)$	(F9)	Treb(Mercè, EDM)
(R10)	$Ic3(\underline{p},n) \leftarrow Numss(\underline{p},n) \land \neg Contractat(\underline{p})$		

(I1) $\iota Emp(\underline{p},c) \leftarrow Treb(\underline{p},c) \land \neg\delta Treb(\underline{p},c) \land \neg Aux1(\underline{p},c) \land \neg Aux9(\underline{p}) \land \iota Cont(\underline{p},c)$

(I2) $\iota Emp(\underline{p},c) \leftarrow Treb(\underline{p},c) \land \neg\delta Treb(\underline{p},c) \land \neg Aux1(\underline{p},c) \land Cont(\underline{p},c1) \land \mu Cont(\underline{p},c1,c) \land c1 \neq c$

(I3) $\iota Emp(\underline{p},c) \leftarrow \neg Aux10(\underline{p}) \land \iota Treb(\underline{p},c) \land Cont(\underline{p},c) \land \neg\delta Cont(\underline{p},c) \land \neg Aux2(\underline{p},c)$

(I4) $\iota Emp(\underline{p},c) \leftarrow \neg Aux10(\underline{p}) \land \iota Treb(\underline{p},c) \land \neg Aux9(\underline{p}) \land \iota Cont(\underline{p},c)$

(I5) $\iota Emp(\underline{p},c) \leftarrow \neg Aux10(\underline{p}) \land \iota Treb(\underline{p},c) \land Cont(\underline{p},c1) \land \mu Cont(\underline{p},c1,c) \land c1 \neq c$

(I6) $\iota Emp(\underline{p},c) \leftarrow Treb(\underline{p},c1) \land \mu Treb(\underline{p},c1,c) \land c1 \neq c \land Cont(\underline{p},c) \land \neg\delta Cont(\underline{p},c) \land \neg Aux2(\underline{p},c)$

(I7) $\iota Emp(\underline{p},c) \leftarrow Treb(\underline{p},c1) \land \mu Treb(\underline{p},c1,c) \land c1 \neq c \land \neg Aux9(\underline{p}) \land \iota Cont(\underline{p},c)$

(I8) $\iota Emp(\underline{p},c) \leftarrow Treb(\underline{p},c1) \land \mu Treb(\underline{p},c1,c) \land c1 \neq c \land Cont(\underline{p},c2) \land \mu Cont(\underline{p},c2,c) \land c2 \neq c \land c1 \neq c2$

(D1) $\delta Emp(\underline{p},c) \leftarrow Treb(\underline{p},c) \land \delta Treb(\underline{p},c) \land Cont(\underline{p},c)$

(D2) $\delta Emp(\underline{p},c) \leftarrow Treb(\underline{p},c) \land \mu Treb(\underline{p},c,c1) \land c1 \neq c \land Cont(\underline{p},c) \land \neg\mu Cont(\underline{p},c,c1)$

(D3) $\delta Emp(\underline{p},c) \leftarrow Treb(\underline{p},c) \land Cont(\underline{p},c) \land \delta Cont(\underline{p},c)$

(D4) $\delta Emp(\underline{p},c) \leftarrow Treb(\underline{p},c) \land Cont(\underline{p},c) \land \mu Cont(\underline{p},c,c1) \land c1 \neq c \land \neg\mu Treb(\underline{p},c,c1)$

(M1) $\mu Emp(\underline{p},c1,c2) \leftarrow Treb(\underline{p},c1) \land \mu Treb(\underline{p},c1,c2) \land Cont(\underline{p},c1) \land \mu Cont(\underline{p},c1,c2) \land c1 \neq c2$

(I9) $\iota Actiu(\underline{p}) \leftarrow Emp(\underline{p},c) \land \neg\delta Emp(\underline{p},c) \land \neg Aux3(\underline{p},c) \land Baixa(\underline{p}) \land \delta Baixa(\underline{p})$

(I10) $\iota Actiu(\underline{p}) \leftarrow \neg Aux11(\underline{p}) \land \iota Emp(\underline{p},c) \land \neg Baixa(\underline{p}) \land \neg\iota Baixa(\underline{p})$

(I11) $\iota Actiu(\underline{p}) \leftarrow \neg Aux11(\underline{p}) \land \iota Emp(\underline{p},c) \land Baixa(\underline{p}) \land \delta Baixa(\underline{p})$

---

[4] Els predicats auxiliars són necessaris per assegurar que les regles de la A(D) són permissibles.

(I12) $\iota Actiu(\underline{p}) \leftarrow Emp(\underline{p},c) \land \mu Emp(\underline{p},c,c1) \land c \neq c1 \land Baixa(\underline{p}) \land \delta Baixa(\underline{p})$

(D5) $\delta Actiu(\underline{p}) \leftarrow Emp(\underline{p},c) \land \delta Emp(\underline{p},c) \land \neg Baixa(\underline{p})$

(D6) $\delta Actiu(\underline{p}) \leftarrow Emp(\underline{p},c) \land \neg Baixa(\underline{p}) \land \iota Baixa(\underline{p})$

(I13) $\iota Contractat(\underline{p}) \leftarrow \neg Aux9(\underline{p}) \land \iota Cont(\underline{p},c)$

(D7) $\delta Contractat(\underline{p}) \leftarrow Cont(\underline{p},c) \land \delta Cont(\underline{p},c)$

(I14) $\iota\text{Nòmina}(\underline{p},c) \leftarrow \neg Aux15(\underline{p}) \land \iota\text{Nòmina1}(\underline{p},c) \land \neg Aux16(\underline{p})$

(I15) $\iota\text{Nòmina}(\underline{p},c) \leftarrow \neg Aux16(\underline{p}) \land \iota\text{Nòmina2}(\underline{p},c) \land \neg Aux15(\underline{p})$

(I16) $\iota\text{Nòmina1}(\underline{p},c) \leftarrow \neg Aux12(\underline{p}) \land \iota Prop(\underline{p},c)$

(I17) $\iota\text{Nòmina2}(\underline{p},c) \leftarrow Treb(\underline{p},c) \land \neg\delta Treb(\underline{p},c) \land Baixa(\underline{p}) \land \delta Baixa(\underline{p})$

(I18) $\iota\text{Nòmina2}(\underline{p},c) \leftarrow \neg Aux10(\underline{p},c) \land \iota Treb(\underline{p},c) \land \neg Baixa(\underline{p}) \land \neg\iota Baixa(\underline{p})$

(I19) $\iota\text{Nòmina2}(\underline{p},c) \leftarrow \neg Aux10(\underline{p},c) \land \iota Treb(\underline{p},c) \land Baixa(\underline{p}) \land \delta Baixa(\underline{p})$

(D8) $\delta\text{Nòmina}(p,c) \leftarrow \text{Nòmina1}(p,c) \land \delta\text{Nòmina1}(p,c) \land \text{Nòmina2}(p,c) \land \delta\text{Nòmina2}(p,c)$

(D9) $\delta\text{Nòmina}(p,c) \leftarrow \text{Nòmina1}(p,c) \land \delta\text{Nòmina1}(p,c) \land \neg Aux16(\underline{p}) \land \neg Aux72(\underline{p})$

(D10) $\delta\text{Nòmina}(\underline{p},c) \leftarrow \neg Aux15(\underline{p}) \land \neg Aux71(\underline{p}) \land \text{Nòmina2}(\underline{p},c) \land \delta\text{Nòmina2}(\underline{p},c)$

(D11) $\delta\text{Nòmina1}(\underline{p},c) \leftarrow Prop(\underline{p},c) \land \delta Prop(\underline{p},c)$

(D12) $\delta\text{Nòmina2}(\underline{p},c) \leftarrow Treb(\underline{p},c) \land \delta Treb(\underline{p},c) \land \neg Baixa(\underline{p})$

(D13) $\delta\text{Nòmina2}(\underline{p},c) \leftarrow Treb(\underline{p},c) \land \neg Baixa(\underline{p}) \land \iota Baixa(\underline{p})$

(M2) $\mu\text{Nòmina}(\underline{p},c,c1) \leftarrow \text{Nòmina1}(\underline{p},c) \land \delta\text{Nòmina1}(\underline{p},c) \land \text{Nòmina2}(\underline{p},c) \land \mu\text{Nòmina2}(\underline{p},c,c1) \land c \neq c1$

(M3) $\mu\text{Nòmina}(\underline{p},c,c1) \leftarrow \text{Nòmina1}(\underline{p},c) \land \mu\text{Nòmina1}(\underline{p},c,c1) \land c \neq c1 \land \text{Nòmina2}(\underline{p},c) \land \delta\text{Nòmina2}(\underline{p},c)$

(M4) $\mu\text{Nòmina}(\underline{p},c,c1) \leftarrow \text{Nòmina1}(\underline{p},c) \land \delta\text{Nòmina1}(\underline{p},c) \land \neg Aux16(\underline{p}) \land \iota\text{Nòmina2}(\underline{p},c1) \land c \neq c1$

(M5) $\mu\text{Nòmina}(\underline{p},c,c1) \leftarrow \neg Aux15(\underline{p}) \land \iota\text{Nòmina1}(\underline{p},c1) \land \text{Nòmina2}(\underline{p},c) \land \delta\text{Nòmina2}(\underline{p},c) \land c \neq c1$

(M6) $\mu\text{Nòmina}(\underline{p},c,c1) \leftarrow \text{Nòmina1}(\underline{p},c) \land \mu\text{Nòmina1}(\underline{p},c,c1) \land c \neq c1 \land \neg\text{Nòmina2}(\underline{p},c) \land \neg Aux72(\underline{p})$

(M7) $\mu\text{Nòmina}(\underline{p},c,c1) \leftarrow \neg\text{Nòmina1}(\underline{p},c) \land \neg Aux71(\underline{p}) \land \text{Nòmina2}(\underline{p},c) \land \mu\text{Nòmina2}(\underline{p},c,c1) \land c \neq c1$

(M8) $\mu\text{Nòmina}(\underline{p},c,c1) \leftarrow \text{Nòmina1}(\underline{p},c) \land \mu\text{Nòmina1}(\underline{p},c,c1) \land c \neq c1 \land \text{Nòmina2}(\underline{p},c) \land \mu\text{Nòmina2}(\underline{p},c,c1)$

(M9) $\mu\text{Nòmina1}(\underline{p},c,c1) \leftarrow Prop(\underline{p},c) \land \mu Prop(\underline{p},c,c1) \land c \neq c1$

(M10) $\mu\text{Nòmina2}(\underline{p},c,c1) \leftarrow Treb(\underline{p},c) \land \mu Treb(\underline{p},c,c1) \land c \neq c1 \land \neg Baixa(\underline{p}) \land \neg\iota Baixa(\underline{p})$

(R01) $Ic \leftarrow Ic1(\underline{p},c)$

(R02) $Ic \leftarrow Ic2(\underline{p},c,s)$

(R03) $Ic \leftarrow Ic3(\underline{p},n)$

(C01) $\iota Ic \leftarrow \iota Ic1(\underline{p},c)$

(C02) $\iota Ic \leftarrow \iota Ic2(\underline{p},c,s)$

(C03) $\iota Ic \leftarrow \iota Ic3(\underline{p},n)$

(C1) $\iota Ic1(\underline{p},c) \leftarrow Emp(\underline{p},c) \land \neg\delta Emp(\underline{p},c) \land \neg Aux3(\underline{p},c) \land Edat(\underline{p}) \land \delta Edat(\underline{p})$

(C2) $\iota Ic1(\underline{p},c) \leftarrow \neg Aux11(\underline{p}) \land \iota Emp(\underline{p},c) \land \neg Edat(\underline{p}) \land \neg\iota Edat(\underline{p})$

(C3) $\iota Ic1(\underline{p},c) \leftarrow \neg Aux11(\underline{p}) \land \iota Emp(\underline{p},c) \land Edat(\underline{p}) \land \delta Edat(\underline{p})$

(C4) $\iota Ic1(\underline{p},c) \leftarrow Emp(\underline{p},c) \land \mu Emp(\underline{p},c,c1) \land c1 \neq c \land Edat(\underline{p}) \land \delta Edat(\underline{p})$

(C5) $\iota Ic2(\underline{p},c,s) \leftarrow Sou(\underline{p},c,s) \land \neg\delta Sou(\underline{p},c,s) \land \neg Aux6(\underline{p},c,s) \land Treb(\underline{p},c) \land \delta Treb(\underline{p},c)$

(C6) $\iota Ic2(\underline{p},c,s) \leftarrow \neg Aux13(\underline{p}) \land \iota Sou(\underline{p},c,s) \land \neg Treb(\underline{p},c) \land \neg\iota Treb(\underline{p},c) \land \neg Aux8(\underline{p},c)$

(C7) $\iota Ic2(\underline{p},c,s) \leftarrow \neg Aux13(\underline{p}) \land \iota Sou(\underline{p},c,s) \land Treb(\underline{p},c) \land \delta Treb(\underline{p},c)$

(C8) $\iota Ic2(\underline{p},c,s) \leftarrow \neg Aux13(\underline{p}) \land \iota Sou(\underline{p},c,s) \land Treb(\underline{p},c) \land \mu Treb(\underline{p},c,c1)$

(C9) $\iota Ic2(\underline{p},c,s) \leftarrow Sou(\underline{p},c1,s1) \land \mu Sou(\underline{p},c1,s1,c,s) \land c1 \neq c \land s1 \neq s \land \neg Treb(\underline{p},c) \land \neg\iota Treb(\underline{p},c) \land \neg Aux8(\underline{p},c)$

(C10) $\iota Ic2(\underline{p},c,s) \leftarrow Sou(\underline{p},c1,s1) \land \mu Sou(\underline{p},c1,s1,c,s) \land c1 \neq c \land s1 \neq s \land Treb(\underline{p},c) \land \delta Treb(\underline{p},c)$

(C11) $\iota Ic2(\underline{p},c,s) \leftarrow Sou(\underline{p},c1,s1) \land \mu Sou(\underline{p},c1,s1,c,s) \land c1 \neq c \land s1 \neq s \land Treb(\underline{p},c) \land \mu Treb(\underline{p},c,c2)$

(C12) ιIc3(p,n) ← Numss(p,n) ∧ ¬δNumss(p,n) ∧ ¬Aux17(p,n) ∧ Contractat(p) ∧ δContractat(p)

(C13) ιIc3(p,n) ← ¬Aux14(p) ∧ ιNumss(p,n) ∧ ¬Contractat(p) ∧ ¬ιContractat(p)

(C14) ιIc3(p,n) ← ¬Aux14(p) ∧ ιNumss(p,n) ∧ Contractat(p) ∧ δContractat(p)

(C15) ιIc3(p,n) ← Numss(p,n) ∧ μNumss(p,n,n1) ∧ n1≠n ∧Contractat(p) ∧ δContractat(p)

(A1) Aux1(p,c) ← μTreb(p,c,c1)

(A2) Aux2(p,c) ← μCont(p,c,c1)

(A3) Aux3(p,c) ← μEmp(p,c,c1)

(A4) Aux4(p,c) ← μProp(p,c,c1)

(A5) Aux5(p,c) ← μCont(p,c1,c)

(A6) Aux6(p,c,s) ← μSou(p,c,s,c1,s1)

(A71) Aux71(p) ← ιNòmina1(p,c)

(A72) Aux72(p) ← ιNòmina2(p,c)

(A8) Aux8(p,c) ← μTreb(p,c1,c)

(A9) Aux9(p) ← Cont(p,c)

(A10) Aux10(p) ← Treb(p,c)

(A11) Aux11(p) ← Emp(p,c)

(A12) Aux12(p) ← Prop(p,c)

(A13) Aux13(p) ← Sou(p,c,s)

(A14) Aux14(p) ← Numss(p,n)

(A15) Aux15(p) ← Nòmina1(p,c)

(A16) Aux16(p) ← Nòmina2(p,c)

(A17) Aux17(p,n) ← μNumss(p,n,n1)

□

3.4.1 Propietats de l'A(D)

En aquesta secció es comenten les principals propietats sintàctiques de l'A(D) respecte a les propietats de D. En concret, donat que la definició del mètode proposat en aquesta tesi està basat en la resolució SLDNF, ens interessen les propietats sintàctiques de l'A(D) respecte a la completesa de la resolució SLDNF.

Aquestes propietats es defineixen en funció del *graf de dependències* de D. Seguirem les definicions i terminologia donades a [DC89]. Els nodes del graf de dependències són els fets i les regles de D. Per cada parell de nodes F i F', hi ha una fletxa de F' a F, si hi ha un àtom A en el cos de F tal que els predicats en A i en la conclusió de F' són els mateixos. La fletxa es marca positivament (negativament) si A és positiu (negatiu) en F.

Si F i F' són dos nodes del graf de dependències, diem que:

- F depèn de F' si hi ha un camí de F' a F.
- F depèn positivament (negativament) de F' si hi ha un camí de F' a F que no conté cap (com a mínim una) fletxa negativa.
- F depèn de forma parell (senar) de F' si hi ha un camí de F' a F que conté un nombre parell (senar) de fletxes negatives.
- F depèn recursivament d'ell mateix si hi ha un camí de F a F de longitud superior a 0.

Les definicions següents s'utilitzen per a caracteritzar les propietats d'una base de dades D:

- D és jeràrquica si cap node del graf de dependències de D depèn recursivament d'ell mateix.
- D és estratificada si cap node del graf de dependències de D depèn negativament d'ell

mateix.

- D és consistent per crida si cap node del graf de dependències de D depèn de forma senar d'ell mateix.
- D és estricta si no hi ha cap parell de nodes F i F' en el graf de dependències de D tal que F depèn en forma parell i senar de F'.
- D és parell si no hi ha cap parell de nodes F i F' en el graf de dependències de D tal que F depèn en forma parell i senar de F', i F' depèn recursivament d'ell mateix

En general, la resolució SLDNF és incompleta, però hi ha moltes classes de programes lògics (bases de dades deductives) i objectius pels que és completa. En concret, Clark [Cla78] ha demostrat la seva completesa per a bases de dades deductives i objectius que són jeràrquics i permissibles. Cavedon i Lloyd [CL87] l'han demostrat per a bases de dades i objectius que són permissibles, estrictes i estratificats. Kunen [Kun89] ho ha demostrat per a bases de dades i objectius que són permissibles, estrictes i consistents per crida. Més recentment, Decker i Cavedon [DC89] han demostrat la completesa per a bases de dades i objectius que són consistents per crida, parells i coberts recursivament (una generalització de permissible).

La següent relació entre les propietats de D i les de l'A(D) es pot demostrar fàcilment:

- Si D és jeràrquica, aleshores A(D) és jeràrquica.
- Si D és estratificada i cap predicat recursiu té arguments no clau, aleshores A(D) és consistent per crida.
- Si D és estricta i cap predicat recursiu té arguments no clau, aleshores A(D) també és estricta.
- Si D és permissible, aleshores A(D) també és permissible.

Per tant, aquests resultats ens permeten demostrar que, si una base de dades D és estratificada, permissible, estricta i cap predicat recursiu té arguments no clau, aleshores la resolució SLDNF serà completa per a la base de dades augmentada A(D). En canvi, si la base de dades té predicats recursius amb arguments clau i arguments no clau, la base de dades augmentada no és ni estratificada, ni consistent per crida, ni estricta i tampoc és parell. En aquest cas, conjecturem que la base de dades augmentada és localment estratificada; però, malauradament, no s'ha pogut demostrar la completesa de la resolució SLDNF per aquest tipus de bases de dades.

Annex 1

Per tal de mostrar la transformació de les regles d'esdeveniment d'esborrat d'un predicat P del format definit a (17) a la forma definida a (19), cal tenir present unes consideracions inicials. Suposem que el predicat derivat $P(\mathbf{k}, \mathbf{x})$ està definit per m predicats $P_i(\mathbf{k}, \mathbf{x})$ amb les regles $P(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \leftarrow P_i(\mathbf{k}, \mathbf{x})$ (i=1...m). Si a més a més, suposem que el fet derivat $P^o(\mathbf{k}, \mathbf{x})$ és cert, llavors, podem assegurar que almenys per un valor de i (i = 1...m) el predicat $P^o_i(\mathbf{k}, \mathbf{x})$ també serà cert. Suposem també que els arguments **k** del predicat $P(\mathbf{k}, \mathbf{x})$ són els arguments clau del predicat P. Al considerar que l'estat antic de la base de dades és consistent, llavors, no podran ser certs en el mateix estat de la base de dades els fets $P^o_i(\mathbf{k}, \mathbf{x})$ i $P^o_j(\mathbf{k}, \mathbf{z})$ amb $\mathbf{x} \neq \mathbf{z}$.

Sigui la regla d'esdeveniment d'esborrat definida a (17):

$$\delta P(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \leftarrow \delta P_i(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \neg\exists \mathbf{y} P^n_1(\mathbf{k}, \mathbf{y}) \wedge \ldots \wedge \neg\exists \mathbf{y} P^n_{i-1}(\mathbf{k}, \mathbf{y}) \wedge \neg\exists \mathbf{y} P^n_{i+1}(\mathbf{k}, \mathbf{y}) \wedge \ldots \wedge \neg\exists \mathbf{y} P^n_m(\mathbf{k}, \mathbf{y}) \qquad i = 1 \ldots m$$

Amb una petita transformació dels quantificadors i el prerequisit de l'esdeveniment d'esborrat definit a (5), podem rescriure la regla anterior de la forma següent:

(i) $$\delta P(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \leftarrow P^o_i(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \delta P_i(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge^m_{r \neq i} [\forall \mathbf{y}\ \neg P^n_r(\mathbf{k}, \mathbf{y})] \qquad i = 1 \ldots m$$

Tenint en compte que a l'estat antic de la base de dades es compleix la restricció de clau del predicat P, considerem l'axioma de transició d'un predicat P_r (definit a (10)):

$$\begin{aligned}\forall \mathbf{y}, \mathbf{z}\ \neg P^n_r(\mathbf{k}, \mathbf{y}) \leftarrow\ & (\neg P^o_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \neg\ \iota P_r(\mathbf{k}, \mathbf{y}) \wedge \neg\ \mu P_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{y})) \vee \\ & (P^o_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \delta P_r(\mathbf{k}, \mathbf{x})) \vee \\ & (P^o_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \mu P_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{z}) \wedge \mathbf{x} \neq \mathbf{z})\end{aligned}$$

En aquesta disjunció, el literal $\neg\ \mu P_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{y})$ del primer disjuntand pot ser eliminat ja que aquest esdeveniment no podrà ocórrer mai. Això és degut a que aquest esdeveniment requereix que el fet $P^o_r(\mathbf{k}, \mathbf{x})$ sigui cert, i en el mateix disjunctand imposem que sigui fals.

Per altra banda, l'esdeveniment $\mu P_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{z})$ del tercer disjuntand de l'expressió anterior sempre serà fals i, per tant, aquest tercer disjuntand pot ser eliminat. Aquest esdeveniment no podrà ocórrer mai, ja que induiria el fet $P^n_r(\mathbf{k}, \mathbf{z})$ amb $\mathbf{x} \neq \mathbf{z}$, el qual és contradictori amb la conclusió de la regla $\neg P^n_r(\mathbf{k}, \mathbf{y})$.

Així doncs, l'axioma de transició queda de la forma següent:

$$\forall \mathbf{z}\ \neg P^n_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \leftarrow (\neg P^o_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \neg\ \iota P_r(\mathbf{k}, \mathbf{z})) \vee (P^o_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \delta P_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}))$$

Si substituïm aquesta expressió a la regla d'esdeveniment d'esborrat anterior (i) podem obtenir l'expressió següent:

$$\delta P(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \leftarrow (P^o_i(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \delta P_i(\mathbf{k}, \mathbf{x})) \wedge^m_{r \neq i} ((\neg P^o_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \neg\ \iota P_r(\mathbf{k}, \mathbf{z})) \vee (P^o_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \delta P_r(\mathbf{k}, \mathbf{x})))$$

que pot ser rescrita de la següent forma (19):

$$\delta P_j(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \leftarrow \wedge^m{}_{r=1} [P^o{}_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \delta P_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \mid \neg P^o{}_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \neg \iota P_r(\mathbf{k}, \mathbf{z})] \qquad j = 1 \ldots (2^m-1)$$

Observi's que la regla d'esdeveniment $\delta P_j(\mathbf{k}, \mathbf{x})$ per a $j=2^m$ es correspon a la regla següent:

$$\delta P_{2m}(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \leftarrow \wedge^m{}_{r=1} [\neg P^o{}_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \neg \iota P_r(\mathbf{k}, \mathbf{z})]$$

Aquesta regla, ha estat eliminada de la definició (19), ja que es correspon a una regla d'esdeveniment la qual no permet induir cap esborrat del predicat $P(\mathbf{k}, \mathbf{x})$ i, per tant, no la considerem.

Annex 2

En aquest annex es mostra amb detall com es poden obtenir les regles d'esdeveniment de modificació definides (24), (25), (26) i (27) a partir de la definició presentada a (21) i (22). Al igual que en el cas de les regles d'esdeveniment d'esborrat, cal tenir present unes consideracions inicials. Suposem que el predicat derivat $P(\mathbf{k}, \mathbf{x})$ està definit per m predicats $P_i(\mathbf{k}, \mathbf{x})$ amb les regles $P(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \leftarrow P_i(\mathbf{k}, \mathbf{x})$ (i=1...m). Suposem que els arguments $\mathbf{k}$ del predicat $P(\mathbf{k}, \mathbf{x})$ són els arguments clau del predicat P i, que també ho són pels predicats $P_i(\mathbf{k}, \mathbf{x})$. Suposem també que la restricció d'integritat de clau es compleix a l'estat antic de la base de dades, i que en el nou estat aquesta restricció també s'ha de satisfer.

Sigui la regla d'esdeveniment de modificació definida a (21) següent:

$$\mu P(\mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \leftarrow P^o_i(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge P^n_h(\mathbf{k}, \mathbf{x'}) \wedge \mathbf{x} \neq \mathbf{x'} \qquad i, h = 1 \ldots m \ (i \neq h)$$

Tenint en compte que la restricció de clau del predicat $P(\mathbf{k}, \mathbf{x})$ s'ha de complir a tot estat de la base de dades llavors, les implicacions següents seran certes:

$$P^o_i(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \rightarrow \neg \exists\ \mathbf{y}\ P^o_h(\mathbf{k}, \mathbf{y}) \wedge \mathbf{x} \neq \mathbf{y} \qquad i, h = 1 \ldots m$$

$$P^n_i(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \rightarrow \neg \exists\ \mathbf{y}\ P^n_h(\mathbf{k}, \mathbf{y}) \wedge \mathbf{x} \neq \mathbf{y} \qquad i, h = 1 \ldots m$$

Així doncs, tenint en compte aquestes implicacions i que la restricció de clau es satisfà a l'estat antic de la base de dades, podem escriure la definició d'esdeveniment de modificació anterior de la forma:

(ii) $$\mu P(\mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \leftarrow P^o_i(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge P^n_h(\mathbf{k}, \mathbf{x'}) \wedge \mathbf{x} \neq \mathbf{x'} \wedge^m_{r=1} [\neg P^n_r(\mathbf{k}, \mathbf{y}) \wedge \mathbf{y} \neq \mathbf{x'}] \quad i \neq h$$

Considerem l'axioma de transició definit a (9) pel literal $P^n_h(\mathbf{k}, \mathbf{x'})$:

$$\begin{aligned} P^n_h(\mathbf{k}, \mathbf{x'}) \leftarrow\ & (P^o_h(\mathbf{k}, \mathbf{x'}) \wedge \neg\, \delta P_h(\mathbf{k}, \mathbf{x'}) \wedge \neg\, \mu P_h(\mathbf{k}, \mathbf{x'}, \mathbf{x''})) \vee \\ & (\neg\, P^o_h(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \iota P_h(\mathbf{k}, \mathbf{x'})) \vee \\ & (P^o_h(\mathbf{k}, \mathbf{x'''}) \wedge \mu P_h(\mathbf{k}, \mathbf{x'''}, \mathbf{x'}) \wedge \mathbf{x'} \neq \mathbf{x'''})) \end{aligned}$$

Si suposem que la restricció de clau es satisfà a l'estat antic de la base de dades i que en aquest estat $P^o_i(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \mathbf{x} \neq \mathbf{x'}$ llavors, el literal $P^o_h(\mathbf{k}, \mathbf{x'})$ del primer disjuntand sempre serà fals i podem eliminar aquest disjuntand. Per la mateixa raó, en el literal $P^o_h(\mathbf{k}, \mathbf{x'''})$ del tercer disjuntand, les variables $\mathbf{x}$ i $\mathbf{x'''}$ es corresponen a la mateixa variable ($\mathbf{x}=\mathbf{x'''}$). Així doncs, l'expressió quedarà de la forma següent:

$$P^n_h(\mathbf{k}, \mathbf{x'}) \leftarrow (\neg P^o_h(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \iota P_h(\mathbf{k}, \mathbf{x'})) \vee (P^o_h(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \mu P_h(\mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \wedge \mathbf{x'} \neq \mathbf{x})$$

Si ara considerem l'axioma de transició (10) de $\neg P^n_r(\mathbf{k}, \mathbf{y})$ amb $\mathbf{y} \neq \mathbf{x'}$:

$$\begin{aligned} \neg P^n_r(\mathbf{k}, \mathbf{y}) \leftarrow\ & (\neg P^o_r(\mathbf{k}, \mathbf{y}) \wedge \neg\, \iota P_r(\mathbf{k}, \mathbf{y}) \wedge \neg\, \mu P_r(\mathbf{k}, \mathbf{z}, \mathbf{y})) \vee \\ & (P^o_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \delta P_r(\mathbf{k}, \mathbf{x})) \vee \end{aligned}$$

$$(P^o{}_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \mu P_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{w}) \wedge \mathbf{x} \neq \mathbf{w})$$

De la mateixa manera que en l'axioma anterior, podem aplicar certes simplificacions tenint en compte que la restricció de clau es satisfà a l'estat antic de la base de dades.

El literal $\mu P_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{y})$ del primer disjuntand no es podrà satisfer mai ja que requereix que el fet $P^o{}_r(\mathbf{k}, \mathbf{x})$ sigui cert, però aquest requeriment és contradictori amb el primer literal d'aquest mateix disjuntand $(\neg P^o{}_r(\mathbf{k}, \mathbf{y}))$ considerant $\mathbf{x'} \neq \mathbf{y}$. Per altra banda, podem observar que en el tercer disjuntand el literal $\mu P_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{w})$ permetrà induir el fet $P^n{}_r(\mathbf{k}, \mathbf{w})$. Per no violar la restricció de clau al nou estat de la base de dades, cal que $\mathbf{w} = \mathbf{x'}$ ja que també s'ha de satisfer el fet $P^n{}_h(\mathbf{k}, \mathbf{x'})$. Així doncs, l'expressió quedarà de la forma següent:

$$\neg P^n{}_r(\mathbf{k}, \mathbf{y}) \leftarrow (\neg P^o{}_r(\mathbf{k}, \mathbf{y}) \wedge \neg\iota P_r(\mathbf{k}, \mathbf{y})) \vee (P^o{}_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \delta P_r(\mathbf{k}, \mathbf{x})) \vee (P^o{}_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \mu P_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \wedge \mathbf{x} \neq \mathbf{x'})$$

Aplicant les simplificacions dels axiomes de transició anteriors a (ii) i distribuint els operadors $\wedge$ sobre els operadors $\vee$ i tenint en compte la restricció de clau, s'obtenen les regles següents:

I. $\mu P_j(\mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \leftarrow \wedge^m{}_{r=1} [(\neg \exists\, \mathbf{z} \neq \mathbf{x'}\ P^o{}_r(\mathbf{k}, \mathbf{z}) \wedge \neg\iota P_r(\mathbf{k}, \mathbf{z}) \mid (\neg \exists\, \mathbf{y}\ P^o{}_r(\mathbf{k}, \mathbf{y}) \wedge \iota P_r(\mathbf{k}, \mathbf{x'}))]$

II. $\mu P_j(\mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \leftarrow \wedge^m{}_{r=1} [(\neg \exists\, \mathbf{z} \neq \mathbf{x'}\ P^o{}_r(\mathbf{k}, \mathbf{z}) \wedge \neg\iota P_r(\mathbf{k}, \mathbf{z})) \mid (P^o{}_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \mu P_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \wedge \mathbf{x'} \neq \mathbf{x})]$

III. $\mu P_j(\mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \leftarrow \wedge^m{}_{r=1} [(P^o{}_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \delta P_r(\mathbf{k}, \mathbf{x})) \mid (\neg \exists\, \mathbf{y}\ P^o{}_r(\mathbf{k}, \mathbf{y}) \wedge \iota P_r(\mathbf{k}, \mathbf{x'}) \wedge \mathbf{x} \neq \mathbf{x'})]$

IV. $\mu P_j(\mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \leftarrow \wedge^m{}_{r=1} [(P^o{}_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \delta P_r(\mathbf{k}, \mathbf{x})) \mid (P^o{}_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \mu P_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \wedge \mathbf{x'} \neq \mathbf{x})]$

V. $\mu P_j(\mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \leftarrow \wedge^m{}_{r=1} [(P^o{}_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \mu P_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \wedge \mathbf{x} \neq \mathbf{x'}) \mid (\neg \exists\, \mathbf{y}\ P^o{}_r(\mathbf{k}, \mathbf{y}) \wedge \iota P_r(\mathbf{k}, \mathbf{x'}))]$

VI. $\mu P_j(\mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \leftarrow \wedge^m{}_{r=1} [(P^o{}_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \mu P_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \wedge \mathbf{x} \neq \mathbf{x'}) \mid (P^o{}_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \mu P_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \wedge \mathbf{x'} \neq \mathbf{x})]$

Aquest conjunt de regles es pot simplificar. La regla I no es correspon a una definició d'una regla d'esdeveniment de modificació al suposar que no es satisfà el fet $P^o(\mathbf{k}, \mathbf{x})$. A la regla II, es pot observar que per j=1 s'assumeix que el fet $P^o(\mathbf{k}, \mathbf{x'})$ és cert, per tant sols considerarem els casos j=1... 2^m. A la regla III, per j = 1 la regla no es correspon a una d'esdeveniment de modificació sinó que es correspon a una regla d'esdeveniment d'esborrat, i per j=2^m es correspon a una regla d'esdeveniment d'inserció al suposar $\neg\ P^o(\mathbf{k}, \mathbf{x})$. En la regla la IV, al igual que en el cas anterior (III), per j=1 obtenim una regla d'esdeveniment d'esborrat, però amb j=2^m obtenim una regla que ja coincideix amb la de la regla VI. Amb la regla V amb j≠1 les insercions addicionals $\iota P_r(\mathbf{k}, \mathbf{x'})$ són innecessàries, ja que amb els literals $\mu P_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{x'})$ ja assolim la modificació $\mu P(\mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{x'})$, per j=$2^m$ obtenim una regla d'esdeveniment d'inserció i, per la resta de casos, obtenim regles que són un cas particular de les obtingudes amb la regla II.

En el darrer cas, la regla VI només permet obtenir una regla de modificació.

Aplicant aquestes simplificacions i evitant obtenir regles repetides, el nou conjunt de regles d'esdeveniment de modificació que obtenim és el següent:

(II) $\mu P_j(\mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \leftarrow \wedge^m_{r=1} [(P^o_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \mu P_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \wedge \mathbf{x'}\neq\mathbf{x}) \mid (\neg P^o_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \neg\iota P_r(\mathbf{k}, \mathbf{z}))]$ amb $j=1...(2^m-2)$

(III) $\mu P_j(\mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \leftarrow \wedge^m_{r=1} [(P^o_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \delta P_r(\mathbf{k}, \mathbf{x})) \mid (\neg \exists \mathbf{y}\ P^o_r(\mathbf{k}, \mathbf{y}) \wedge \iota P_r(\mathbf{k}, \mathbf{x'}) \wedge \mathbf{x}\neq\mathbf{x'})]$ amb $j = 1 ... (2^m-2)$

(IV) $\mu P_j(\mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \leftarrow \wedge^m_{r=1} [(P^o_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \delta P_r(\mathbf{k}, \mathbf{x})) \mid (P^o_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \mu P_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \wedge \mathbf{x}\neq\mathbf{x'})]$ amb $j = 1 ... (2^m-2)$

(VI) $\mu P_j(\mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \leftarrow \wedge^m_{r=1} [(P^o_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}) \wedge \mu P_r(\mathbf{k}, \mathbf{x}, \mathbf{x'}) \wedge \mathbf{x'}\neq\mathbf{x})]$ amb $j=1$

Observi's que aquestes regles es corresponen a les regles identificades com (26), (25), (24) i (27) respectivament.