



TESI DOCTORAL

Proposta de mètodes per a la millora i mesurament de la interoperabilitat empresarial

Doctoranda: Cristina Campos Sancho

Director: Dr. Ricardo Chalmeta Rosaleñ

Programa de doctorat: Informàtica

Departament de Llenguatges i Sistemes Informàtics

Castelló, juliol 2010

El treball presentat en aquesta tesi s'ha desenvolupat en el marc de diferents projectes d'investigació finançats pel 'Consejo Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT)', el 'Ministerio de Educación Ciencia y Tecnología', la Generalitat Valenciana, l'IMPIVA, Bancaixa i la Unió Europea; i en part, durant una estada duta a terme en la Universitat Politècnica de València en el 'Centro de Investigación, Gestión e Ingeniería de Producción' (CIGIP).

Resum

Les empreses necessiten establir col·laboració amb altres per tal d'assolir el seu objectiu de negoci i arribar al sector de mercat al què corresponen les seues activitats. A l'hora d'establir aquestes col·laboracions, el principal problema amb el qual es troben les empreses és la falta de compatibilitat en diferents aspectes, ja siga la forma de fer negocis, les plataformes tecnològiques y els sistemes informàtics que donen suport als seus processos, i també, degut a les diferències culturals i socials.

Però les empreses a més a més d'establir col·laboracions mitjançant xarxes o acords temporals, s'han de poder mantenir independents per a poder treballar amb qualsevol altre col·laborador o soci, sense adoptar mesures que després podrien limitar les seues possibilitats. La resposta a aquest requisit, necessitat de col·laborar sense integrar, es denomina 'Interoperabilitat Empresarial'.

Per a millorar la interoperabilitat empresarial s'ha de considerar tots aquells aspectes de l'empresa que intervenen en les col·laboracions com ara: organitzacionals, dels processos de negoci, les plataformes tecnològiques que donen suport als sistemes de comunicació i de tecnologies de la informació, el tractament dels conceptes que poden tenir diferents interpretacions depenent de l'àmbit cultural o les persones implicades, el coneixement que es pot representar mitjançant models o estar implícit en els processos i la manera de dur a terme les activitats de l'empresa.

Aquesta tesi té com a objectiu aportar propostes que puguen afavorir una col·laboració entre empreses de manera més eficient tenint en compte tots els àmbits i capes de l'empresa. És a dir, proporcionar mètodes i tècniques aplicables de manera senzilla a l'àmbit real empresarial per a que les organitzacions puguen millorar diferents aspectes concernents a la integració i a la interoperabilitat empresarial.

Continguts

Índex general

Preàmbul	1
Introducció	3
1.1. Origen i motivació de la tesi	3
1.2. Objectius i resultats de la tesi.....	6
1.3. Mètode de recerca.....	8
1.4. Estructura de la tesi.....	9
Estat de l'art en interoperabilitat empresarial.....	11
2.1. Arquitectures de referència	13
2.1.1. Arquitectures de referència en integració empresarial.....	14
2.1.2. Arquitectures i marcs d'interoperabilitat empresarial.....	18
2.1.2.1. Marc de referència del DoD de C4ISR	18
2.1.2.2. Marc d'interoperabilitat d'IDEAS	20
2.1.2.3. ATHENA Interoperability Framework	23
2.1.2.4. Marc d'INTEROP.....	26
2.1.2.5. Propostes metodològiques d'interoperabilitat de l'OMG	29
2.1.2.6. Australian Government Interoperability Framework.....	30
2.2. Modelització empresarial.....	32
2.2.1. Llenguatges de modelització empresarial	33
2.2.2. Modelització empresarial en interoperabilitat	33
2.2.2.1. Llenguatges d'intercanvi de models	34
2.2.2.2. Sincronització de models.....	35
2.3. Enginyeria dirigida per models (MDE).....	36
2.3.1. Arquitectura dirigida per models (MDA)	37

2.3.2. Interoperabilitat dirigida per models (MDI)	38
2.4. Gestió del coneixement	39
2.4.1. Gestió del coneixement i sistemes empresarials	40
2.4.2. Gestió del coneixement com a suport a la interoperabilitat.....	40
2.5. Ontologies	41
2.5.1. Ontologies empresarials	42
2.5.2. Ontologies i interoperabilitat	44
2.6. Tecnologies de la informació i les comunicacions	45
2.6.1. Intercanvi electrònic de dades	46
2.6.2. Estàndards de suport als serveis Web	48
2.7. Models de maduresa	51
2.7.1. Capability Maturity Model	51
2.7.2. Models de maduresa en interoperabilitat	52
2.7.2.1. Model de maduresa del DoD.....	52
2.7.2.2. Model de maduresa d'ATHENA	54
2.7.2.3. Model de maduresa en potencialitat de la interoperabilitat.....	56
2.8. Conclusions de l'estat de l'art.....	56
Propostes per a la millora i mesurament de la interoperabilitat.....	63
3.1. Evolució de la investigació	63
3.1.1. Recerca en integració i empreses virtuals.....	64
3.1.2. Recerca en interoperabilitat.....	64
3.2. Marc global de les propostes de la tesi	65
3.3. Propostes i contribucions	71
3.3.1. Arquitectures de referència en integració empresarial.....	72
3.3.1.1. References Architectures for Enterprise Integration	73
3.3.1.2. An Approach to Enterprise Integration	75
3.3.2. Modelització i sincronització de models en interoperabilitat.....	77
3.3.2.1. Interoperability Supported by Enterprise Modelling	78
3.3.2.2. Requirements to Improve the Synchronization of Inter-Enterprise Models.	80
3.3.3. Plataformes de suport a la interoperabilitat empresarial	82
3.3.3.1. A Methodological Proposal for the Development of an Interoperability Framework	83

3.3.4. Interoperabilitat dirigida per models aplicada al coneixement.....	85
3.3.4.1. Using UML Profiles for Enterprise Knowledge Modelling.....	86
3.3.5. Interoperabilitat i ontologies empresarials	88
3.3.5.1. An Ontological Solution to Support Interoperability in the Textile Industry .	89
3.3.6. Mesurament de la maduresa en interoperabilitat	91
3.3.6.1. Methodology for Measuring Interoperability Potentiality	92
Conclusions.....	99
4.1. Conclusions sobre les propostes	100
4.2. Evolució del concepte d'interoperabilitat empresarial	102
4.3. Nous reptes i evolució del treball	103
Glossari	105
Bibliografia.....	107
Annex: Publicacions.....	117

Índex de figures

Figura 1.1. Representació de la interoperabilitat a les capes de l'empresa (Chen, 2003).	5
Figura 1.2. Model detallat d'Investigació-acció.	9
Figura 2.1. Arquitectura GERAM 2.1 (Bernus,1996).	16
Figura 2.2. Vistes de l'Arquitectura del DoD (C4ISR,1997).	20
Figura 2.3. Dominis de la interoperabilitat.	21
Figura 2.4. Arquitectura d'Interoperabilitat d'ATHENA (ATHENA, 2007b).	25
Figura 2.5. Metodologia proposada en ATHENA inspirada en UML (OMG, 2007b, 2007c).	26
Figura 2.6. Aspectes i barreres del marc d'INTEROP (Chen, 2002).	29
Figura 2.7. La sincronització de models per aconseguir la interoperabilitat.	36
Figura 2.8. Transformacions de MDI (Bourey, 2007).	39
Figura 2.9. Spectrum de les ontologies (Obst, 2003).	43
Figura 2.10. Pila de les tecnologies dels serveis Web (Papazoglou, 2007).	50
Figura 2.11. Mapa conceptual de la interoperabilitat empresarial.	62
Figura 3.1. Diagrama del primer nivell del model IDEF0 de l'aplicació de les propostes.	66
Figura 3.2. Diagrama del segon nivell del model IDEF0 de l'aplicació de les propostes.	67
Figura 3.3. Mapa conceptual de la interoperabilitat amb els àmbits de les propostes.	70
Figura 3.4. Mapa conceptual. Aportacions en arquitectures en integració empresarial.	72
Figura 3.5. Les cinc dimensions de l'arquitectura de referència ARDIN.	74
Figura 3.6. Metodologia IRIS per a la integració de l'empresa.	75
Figura 3.7. Metodologia IRIS per a la integració de l'empresa virtual.	76
Figura 3.8. Mapa conceptual. Aportacions en modelització empresarial.	77
Figura 3.9. Sincronització de models per a donar suport a la interoperabilitat.	81
Figura 3.10. Mapa conceptual. Aportacions en plataformes i arquitectures.	83
Figura 3.11. Mapa conceptual. Aportacions en MDI aplicat a la modelització del coneixement.	86
Figura 3.12. Models proposats per a la modelització del coneixement empresarial.	88

Figura 3.13. Mapa conceptual. Aportacions en ontologies com a suport a la interoperabilitat.	89
Figura 3.14. Mapa conceptual. Aportacions en mesurament de la maduresa en interoperabilitat. .	92
Figura 3.15. Diagrama IDEF0 de l'activitat 'Mesurar interoperabilitat'.....	93
Figura 3.16. Metodologia de mesurament de la potencialitat de la interoperabilitat.	96

Índex de taules

Taula 2.1. Relació d'àmbits i resultats aplicats a la interoperabilitat.	13
Taula 2.2. Arquitectures i cicle de vida.	15
Taula 2.3. Marc de Zachman (Zachman, 2003).....	17
Taula 2.4. Exemples de llenguatges de modelització, eines de suport i propòsit.	33
Taula 2.5. Descripció dels atributs PAID.....	53
Taula 2.6. Model LISI.	54
Taula 2.7. Definicions d'interoperabilitat.	57
Taula 3.1. Necessitats de la interoperabilitat i propostes.	71
Taula 3.2. Requisits per sincronitzar models empresarials.	82
Taula 3.3. Metodologia per a la implementació d'un marc de suport a la interoperabilitat.....	85
Taula 3.4. Paràmetres definits per a la potencialitat de la interoperabilitat.	95
Taula A-1. Publicacions.	117

Preàmbul

El concepte d'enginyeria ha existit des de temps remots quan els éssers humans van concebre invencions fonamentals com la politja, la palanca, i la roda. El terme deriva de la paraula enginyer, que es va començar a utilitzar per a referir-se als constructor de maquinaria (o enginys) militars com les catapultes o els ponts llevadissos (Britannica, 2009). La paraula 'enginy' es deriva del llatí 'ingenium', que significa capacitat innata, sobretot en capacitat mental, de la que en deriva una inventiva intel·ligent.

Els enginyers, a partir d'unes necessitats identificades per ells o per altres persones, han de pensar (aplicar l'enginy) per a dissenyar solucions tenint en compte els obstacles o restriccions més importants. Algunes de les restriccions són els recursos disponibles, humans i tecnològics, les limitacions físiques o tècniques, la flexibilitat per a futures modificacions i millores, i altres factors com ara el cost, la possibilitat de dur-ho a terme, les prestacions i les consideracions estètiques, comercials i legals. Mitjançant la comprensió de les necessitats o requisits, i de les restriccions, els enginyers dedueixen quines són les millors solucions per a afrontar les limitacions trobades, quan, com, qui i on s'ha de produir i utilitzar un objecte o sistema.

Els enginyers utilitzen el coneixement de la ciència i les matemàtiques i l'experiència apropiada per a trobar les millors solucions als problemes concrets. Si hi ha múltiples solucions raonables, els enginyers avaluen les diferents opcions de disseny sobre la base de les seues qualitats i trien la solució que millor s'adapta als requisits tenint en compte les restriccions identificades.

Juntament al concepte d'enginyeria apareix el concepte de sistema que es pot definir com un conjunt organitzat de parts o components que interactuen entre si per assolir un objectiu, operant sobre dades, energia i/o matèria per proveir informació, productes i serveis (Pressman, 2005).

Es pot considerar una empresa com un sistema complex, format per altres sistemes, on interactuen persones, coneixement, maquinària, energia, materials, processos, etc. A més a més, és un sistema obert, és a dir que ha d'interactuar amb altres sistemes o ens externs per poder sobreviure; i en un entorn que evoluciona constantment i per tant ha d'estar preparat per poder introduir canvis amb mínim esforç per aconseguir una contínua adaptació al seu entorn.

Els sistemes pels quals està formada una empresa, depenent de l'estructura i finalitat de cadascuna, poden ser: sistemes d'informació, sistemes informàtics, sistemes de comunicació, sistemes d'organització, sistemes de producció, sistemes financers, sistemes de distribució, etc. (Sommerville, 2005). Per dissenyar, desenvolupar, mantenir i millorar tots aquests diversos sistemes és necessari utilitzar solucions de diferents branques de l'enginyeria.

Els enginyers han de tenir la capacitat de proposar solucions viables i eficients a problemes reals, utilitzant eines i mètodes al seu abast que es basen en principis robustos, fonamentats en la ciència, i provats (Pressman, 2005). És, des del punt de vista de la ciència i de la investigació des de on es proposen les tècniques, eines i mètodes que els enginyers han de conèixer per poder aplicar aquells que millor s'adeqüen a cada solució.

És en aquest àmbit multidisciplinari on s'emmarca el treball proposat en aquesta tesi. L'empresa, com a sistema obert, complex i immers en un entorn en continua evolució, requereix propostes, mètodes i solucions robustos sustentats en la ciència i la investigació. Els enginyers han de fer ús d'aquests mètodes i aplicar-los per a resoldre problemes reals i que les empreses puguin evolucionar d'acord als nous requisits que l'entorn empresarial canviant els demana.

1

Introducció

En aquest primer capítol es presenta una breu descripció de l'origen i motivació de la investigació presentada en aquesta tesi, es descriuen els objectius i quins són els resultats mitjançant els quals s'assoleixen aquests objectius. A més a més, es descriu el mètode de recerca aplicat i es detalla l'organització i continguts del document.

1.1. Origen i motivació de la tesi

Les empreses necessiten col·laborar les unes amb les altres de manera eficient per tal d'aconseguir els seus objectius de negoci, minimitzar costos, oferir nous serveis, enfrontar-se a nous reptes i en definitiva, mantenir la seua competitivitat i poder sobreviure econòmicament. Tant les empreses grans, com les petites, necessiten establir acords de col·laboració amb altres per tal d'assolir el seu objectiu de negoci i arribar al sector de mercat al què corresponen les seues activitats.

A l'hora d'establir aquestes col·laboracions, el principal problema amb el qual es troben les empreses és la falta de compatibilitat en diferents aspectes de l'empresa, ja siga la forma de fer negocis, les plataformes tecnològiques y els sistemes informàtics que donen suport als seus processos, i també, degut a les diferències culturals i socials.

1. Introducció

Es podria considerar que la solució és, donada una situació de col·laboració, que totes les empreses involucrades adopten mesures per homogeneïtzar el màxim possible els seus processos, usar les mateixes tecnologies i sistemes de gestió de bases de dades compatibles, unificar terminologies per evitar errors al interpretar conceptes i adoptar un mateix idioma conductor dels negocis. En alguns casos es pot pensar aquest enfocament és la solució més senzilla i adequada. Els motius poden ser diversos, per exemple que les empreses aprofiten per millorar i estandarditzar els seus processos i sistemes adaptant-los a normatives del sector; o potser alguna de les entitats involucrades imposa les condicions per qüestions comercials o de poder; o en situacions d'unions temporals d'empreses, quan els beneficis que aporta aquesta integració compensa, com en el cas de les empreses virtuals que poden adoptar solucions o plataformes comunes. És el que s'anomena 'Integració Empresarial'.

Però en altres ocasions es troben diversos impediments per adoptar un enfocament d'integració. D'una banda, el cost només considerant aspectes tecnològics com a exemple, les empreses que ja tenen el seu propi sistema, plataformes y tecnologies de suport adients, entre altres, haurien d'invertir temps i recursos per a adaptar-se a la solució global adoptada. D'altra banda, les empreses poden establir col·laboracions temporals, i amb diferents empreses cada vegada, de manera que cadascuna pot usar diferents tecnologies i formes de fer negocis, amb la qual cosa, adaptar-se a totes les situacions és inviable. A més a més, les empreses en ocasions volen mantenir la seua pròpia manera de fer negocis, els seus propis sistemes informàtics de suport i la seua cultura, mantenint-se independents per a poder treballar amb qualsevol col·laborador o soci, sense adoptar mesures que després podrien limitar les seues possibilitats de fer negocis amb uns altres.

La resposta a aquest requisit, necessitat de col·laborar sense integrar, la proporciona la 'Interoperabilitat Empresarial'.

N'existeixen nombroses definicions, algunes de les quals es detallen més endavant, però per a entendre millor aquest concepte es pot dir que la interoperabilitat és la capacitat de les empreses per a col·laborar de manera eficient, preservant la seua pròpia identitat i la seua pròpia manera de fer negocis, i amb conseqüència, fent servir mecanismes que actuen com a facilitadors. En aquest context s'entén per eficient, que l'empresa utilitzarà aquells recursos físics i econòmics necessaris perquè la col·laboració siga viable i proporcione beneficis d'acord amb la inversió duta a terme; i se'n entén per preservar la seua identitat, que l'empresa no

modifica substancialment la seua estructura ni els processos per a aconseguir la compatibilitat amb altres empreses.

Avui en dia, la competitivitat d'una empresa està determinada, en gran part, per la seua habilitat d'interoperar amb altres. La interoperabilitat s'ha identificat com un coll de botella al qual han d'enfrontar-se les empreses per assolir l'èxit del seu negoci (CORDIS, 2006).

Per tal de definir l'abast de la problemàtica de la interoperabilitat es pot considerar la proposta de (Chen, 2003) en la qual es representa gràficament la interacció entre dos empreses i es descriu que per a arribar a la col·laboració eficient i completa entre empreses, la interoperabilitat s'ha d'aconseguir en totes les capes de l'empresa, que en aquesta proposta són: negoci, coneixement, tecnologies de les comunicació i de la informació (TIC), i semàntica, tal com es mostra en la figura 1.1. La capa de negoci considera el negocis i els processos de negoci; la capa del coneixement inclou les regles de l'organització, les habilitats i competències dels treballadors i els actius del coneixement; la capa de les tecnologies de la informació i les comunicacions, considera les aplicacions, les dades i les plataformes de suport a les comunicacions i finalment la capa semàntica, que es representa transversal, proporciona la comprensió mútua entre les empreses que volen col·laborar.

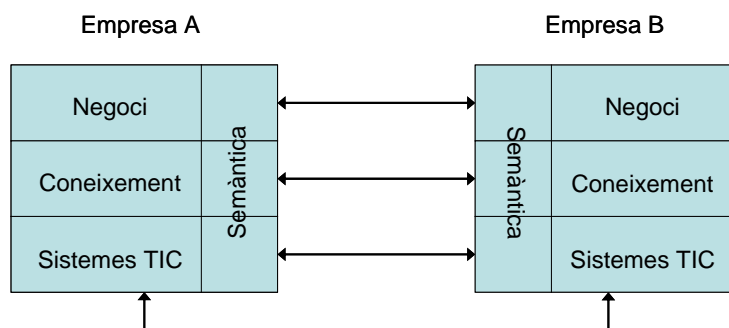


Figura 1.1. Representació de la interoperabilitat a les capes de l'empresa (Chen, 2003).

En aquest àmbit, les TIC es converteixen en una necessitat estratègica en tots els sectors industrials, tant si són grans empreses com petites o mitjanes. Les TIC són les facilitadores de la societat del coneixement, en particular Internet ha sigut el major propulsor de les xarxes d'empreses i ha intensificat el sorgiment de col·laboracions entre les organitzacions, fins i tot entre aquelles que estan allunyades geogràficament unes de les altres. A mesura que les tecnologies avancen donant suport a les comunicacions i es converteixen en una eina que

1. Introducció

proporciona avantatges competitius, la interoperabilitat és cada vegada més un factor crític que marca la diferència entre l'èxit i el fracàs dels negocis.

Però la comunicació entre els sistemes, la transferència de dades i d'informació, així com la sincronització entre negocis de les empreses sense arribar a la integració plena i mantenint la seua independència és un repte complex (Doumeingts, 2003). És per això que els últims anys s'han desenvolupat molts projectes i iniciatives, tant a l'àmbit privat com finançades per entitats públiques. Els seus objectius són proporcionar fonaments teòrics i pràctics per tal de donar suport a la interoperabilitat en totes les seues accepcions, siga des del punt de vista tecnològic, de processos, organitzacional o semàntic.

Donar solucions en aquest àmbit de la interoperabilitat empresarial suposa, per tant, proveir mètodes, tècniques, eines i marcs que permeten avançar en els resultats, identificar i mesurar la qualitat i el nivell de les col·laboracions existents entre les empreses, i proporcionar solucions d'acord amb les necessitats i els recursos disponibles.

1.2. Objectius i resultats de la tesi

La interoperabilitat, a l'igual que s'ha dit per a la integració empresarial en (Vernadat, 2002), és un procés sempre en marxa, primer perquè és un objectiu i segon perquè, encara que s'arribe a interoperar amb un nivell adequat de maduresa, sempre hi ha nous reptes i millores que es poden considerar atès al fet que les empreses estan en un procés de continu canvi. Com a conseqüència, la millora de la interoperabilitat en totes les seues accepcions ha de considerar incloure objectius, mesures, plans i procediments de millora continuada.

Avui en dia totes les empreses col·laboraren les unes amb les altres, ja que en el marc econòmic i industrial actual no hi poden sobreviure de manera aïllada. Però també és cert, que en molts casos, aquestes col·laboracions es realitzen amb el suport de l'experiència personal i en altres, de manera poc documentada, sustentada amb mètodes apresos a partir de la repetició, i poques vegades suportats per propostes científiques contrastades. Per tant, és necessari desenvolupar treballs d'investigació que aporten, a més a més de mètodes reglats, guies senzilles que permeten consolidar els resultats fent participants les empreses d'aquests avanços.

Aquesta tesi té com a objectiu aportar propostes que puguin afavorir una col·laboració entre empreses més eficient. És a dir, proporcionar mètodes i tècniques aplicables de manera senzilla a l'àmbit real empresarial per a que les organitzacions puguin millorar diferents aspectes concernents a la integració i a la interoperabilitat empresarial.

Aquests objectius s'aconsegueixen mitjançant els resultats, publicats en diferents revistes o actes de congressos, que s'inclouen en les aportacions i que es poden detallar com:

- Proposta d'una arquitectura de referència en el marc de la integració empresarial com un primer pas per a aconseguir la col·laboració correcta entre els processos interns de l'empresa. Tenint en compte que una empresa per assolir col·laboracions eficients, i en definitiva interoperar, primer ha d'establir una correcta integració entre els diferents processos que es duen a terme, es considera que la interacció interna o intra-interoperabilitat és el primer requisit.
- Definició dels requisits que cal complir per a cobrir les necessitats inherents a l'ús de llenguatges de modelització com a suport de la interoperabilitat entre processos i en particular requisits per a la sincronització dels models.
- Definició d'un llenguatge de modelització basat en un perfil d'UML, enfocat a la representació del coneixement empresarial a un nivell d'abstracció independent de la computació, i considerant un enfocament dirigit per models per a la generació de sistemes de gestió del coneixement.
- Aplicacions pràctiques a l'àmbit de l'ús de les ontologies com una eina que dona suport a les col·laboracions entre empreses. En aquest cas es tracta de donar una visió pràctica de l'aplicació de les ontologies, per apropar el concepte al món real de l'empresa.
- Definició i aplicació pràctica d'un mètode de mesurament de la maduresa en interoperabilitat basada en paràmetres definits per a diferents dominis o vistes de l'empresa.
- Millora de les propostes mitjançant l'aplicació pràctica i validació d'aquestes a empreses reals. Considerant el mètode de recerca que es descriu a la secció 1.3, l'aplicació permet tenir una base fonamentada en l'experiència i millorar els mètodes incorporant aspectes pràctics o fent-los evolucionar cap a versions més depurades i adequades.

1.3. Mètode de recerca

Per a demostrar la validesa dels resultats i de les propostes els científics disposen del que es denomina el mètode científic, que inclou: observació, inducció, hipòtesi, comprovació de la hipòtesi per experimentació, demostració o refutació de la hipòtesi i conclusions.

Però el pas de la comprovació de la hipòtesi per experimentació en el camp on es desenvolupa la investigació que es presenta en aquesta tesi, no és tant senzill en comparació amb altres àmbits de la ciència on es poden realitzar experiments en laboratoris que són repetibles i verificables quantitativament.

En aquest cas, l'empresa real és el laboratori on s'efectua la validació dels mètodes i tècniques, és el camp d'experimentació que serveix per a millorar i fer evolucionar cap a diferents versions i idees les propostes inicials. Però aquest laboratori no permet fer experiments repetibles amb els mateix paràmetres d'entrada, perquè com ja s'ha mencionat l'empresa és un entorn canviat en continua evolució i en diferents moments, es produeixen diferents situacions que afecten als mètodes i als resultats.

Per tot això, la manera de desenvolupar propostes científiques mitjançant la validació directa en empreses reals, s'emmarca dins del mètode de recerca denominat Investigació-Acció (Action Research). Aquest terme es pot simplificar amb la frase 'aprendre fent' (Dick, 2009). És a dir, aprendre mitjançant els fets o les accions. Una de les característiques principals d'aquest mètode d'investigació és que converteix els participants en la recerca en investigadors al mateix temps. Els usuaris i el personal de les empreses involucrats en el treball d'investigació d'una banda, participen d'una manera més activa en el treball i els resultats, i d'altra aprenen nous conceptes i milloren el seu coneixement en aquest àmbit. Aquest aspecte és un dels principals resultats o punts forts de les aportacions d'aquesta tesi quan s'ha realitzat l'aplicació directa en empreses reals.

El procés que comporta aquests mètode de recerca és cíclic, i es mostra amb més detall en la figura 1.2. (Baskerville, 2004). Encara que inicialment el seu ús es va plantejar per a la investigació en temes socioeconòmics i educatius, des de fa més de dues dècades (O'Brien, 1998) és un enfocament àmpliament aplicat i considerat vàlid en el camp dels sistemes d'informació, les tecnologies i altres àmbits empresarials.

La recerca duta a terme per tal de produir els resultats d'aquesta tesi segueix aquest procés cíclic. Inicialment es desenvolupa un treball d'estudi de les necessitats de les empreses, en aquest cas a l'àmbit de la integració empresarial o de la interoperabilitat, a partir del qual es realitza un diagnòstic de possibles mancances i millores necessàries. Es desenvolupa una proposta metodològica o tecnològica de la possible millora i es planifica com s'ha d'aplicar. L'aplicació (Prenent Acció) és el pas on es verifica la validesa de les propostes, es troben possibles millores que es poden introduir, s'aprenen lliçons sobre mètodes correctes i aquells que resulten poc adients. Mitjançant l'avaluació, s'analitzen els resultats de l'aplicació en l'empresa de la proposta, i després de l'avaluació es refina el mètode o proposta amb la identificació de nous aspectes que cal considerar.

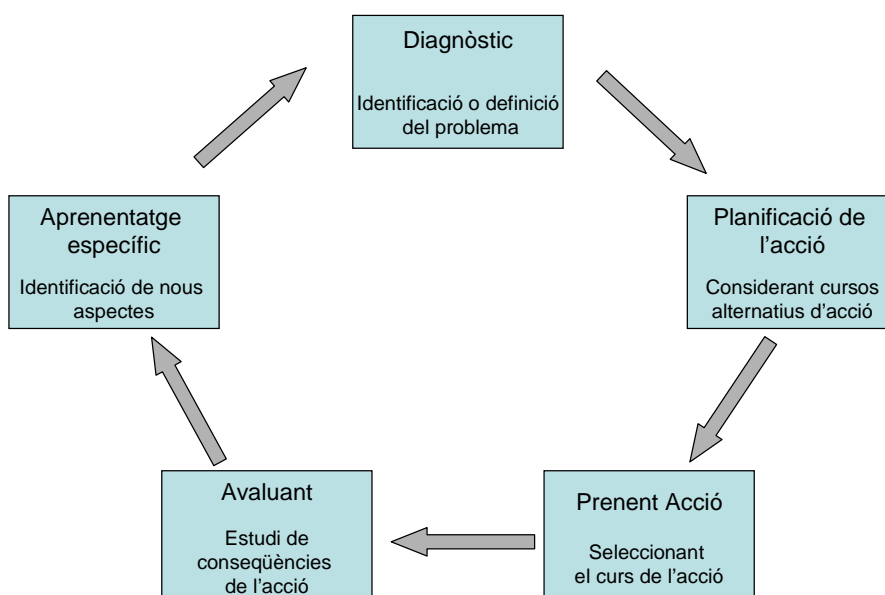


Figura 1.2. Model detallat d'Investigació-acció.

1.4. Estructura de la tesi

En aquests primer capítol es presenta una descripció de l'origen i motivació de la tesi, els objectius generals que s'aconsegueixen amb els resultats proposats, així com una introducció al

1. Introducció

mètode de recerca seguit en les aportacions incloses, i finalment l'organització del document complet.

El segon capítol fa una revisió de tots aquells àmbits de la investigació que aporten o que han donat lloc a propostes específiques per a la millora de la interoperabilitat tenint en compte totes les capes i dominis de l'empresa que s'han descrit. La revisió de la literatura es fa des d'un punt de vista pràctic introduint els principals conceptes que tenen relació amb els resultats inclosos en la tesi. En aquest capítol s'inclou un mapa conceptual de la interoperabilitat empresarial a mode d'esquema per mostrar els diferents conceptes, organització i relacions que es consideren en la interoperabilitat.

En el tercer capítol es presenta d'una banda, el fil conductor dels resultats, mitjançant l'evolució de la investigació de l'autora, i per una altra, s'inclou un resum de cadascuna de les publicacions corresponents a les propostes, i que estan organitzades tenint en compte els conceptes que s'han proposat a l'estudi de l'estat de l'art. Es descriuen breument els principals objectius i resultats de cada publicació, incloent-ne les dades de publicació de cada resultat i els índexs d'impacte quan pertoca.

Al capítol 4 es descriuen les conclusions i els treballs futurs.

Finalment, les aportacions considerades s'inclouen a l'annex de manera completa, tal com van ser publicades. Atesa la naturalesa del treball, alguns dels temes tractats a l'estat de l'art es repeteixen a les aportacions, ja que aquestes s'han deixat tal com eren quan es van publicar per a una millor comprensió.

2

Estat de l'art en interoperabilitat empresarial

La investigació en interoperabilitat sorgeix com a conseqüència de la necessitat de les empreses de tenir fonaments teòrics robustos que permeta establir col·laboracions beneficioses i eficients. A l'igual que en altres àrees de l'enginyeria, com per exemple la de la construcció o la industrial, en l'enginyeria aplicada a les solucions empresarials també és necessari fer ús de mètodes, tècniques i eines provinents d'estudis i investigació en camps diversos.

Com a conseqüència l'estat de l'art en interoperabilitat empresarial s'ha d'estudiar a partir de tots aquells dominis de la investigació, els resultats del quals tenen aplicació directa com a suport de la interoperabilitat o han evolucionat per tal de proveir-ne solucions aplicables.

Els grups d'investigació que han desenvolupat la seua recerca en àrees com la integració empresarial, els llenguatges de modelització empresarial, els sistemes i bases de dades distribuïts, estàndards per a donar suport a la connexió entre sistemes heterogenis o metodologies que milloren la producció de programari, per exemple, han considerat la interoperabilitat com una aposta actual i de futur cap on enfocar la seua recerca i fer evolucionar les seues propostes i resultats. És per això que moltes de les propostes de la investigació en interoperabilitat s'han produït com a evolució d'aquests treballs.

En particular, a l'àmbit de la integració empresarial, les arquitectures de referència en integració empresarial han servit de fonament per a definir marcs metodològics i arquitectures d'interoperabilitat empresarial. Tenint en compte que un marc d'interoperabilitat aglutina propostes i metodologies per a donar suport al desenvolupament de solucions en

interoperabilitat (Vernadat, 2007), aquests marcs i arquitectures d'interoperabilitat fan ús i proposen com a tècniques i mètodes de suport els resultats obtinguts en les diferents àrees considerades dintre de l'àmbit de la investigació en interoperabilitat.

Els objectius d'aquest capítol són introduir alguns dels conceptes fonamentals de diferents camps de la investigació, els resultats dels quals, han aportat principis bàsics, mètodes, eines de suport i propostes de millora a la interoperabilitat empresarial. Per tal de definir aquests àmbits s'ha tingut en compte, en primer lloc, les arquitectures de referència en integració empresarial com a propulsors dels marcs i arquitectures en interoperabilitat empresarial (Chen, 2008a) i els models de maduresa que es proposen com a components d'aquests marcs; en segon lloc, els objectius marcats per les iniciatives a nivell internacional respecte a l'ús de la modelització empresarial (IDEAS 2002), (INTEROP, 2003) i l'enginyeria dirigida per models (OMG, 2001); i en tercer lloc, aquells camps de la investigació relacionats amb les capes de l'empresa en les quals s'ha d'assolir la interoperabilitat perquè aquesta siga completa (negoci, processos, TIC i semàntica). En conseqüència, els camps que s'inclouen en aquest capítol són:

1. **Les arquitectures de referència en integració empresarial**, com a base teòrica precursora de les propostes de marcs, arquitectures i metodologies d'interoperabilitat.
2. **La modelització empresarial**, com a suport a la interoperabilitat dels processos de negoci i a tots els nivells i capes de l'empresa.
3. **L'enginyeria dirigida per models MDE (Model Driven Engineering)**, és un paradigma dirigit per models que com a proposta més reconeguda inclou **MDA (Model Driven Architecture)**, arquitectura dirigida per models per a la generació de programari, i que ha donat els fonaments per a la proposta d'interoperabilitat dirigida per models **MDI (Model Driven Interoperability)**.
4. **La gestió del coneixement empresarial** com un dels aspectes claus per a la millora de la interoperabilitat.
5. **Les ontologies**, com a suport a la capa semàntica i a la comprensió completa dels conceptes entre empreses que han d'interoperar.
6. **Les tecnologies de la informació i les comunicacions (TIC)**, que presten suport a les col·laboracions entre sistemes informatitzats, i també, com a eines d'intercanvi entre sistemes informàtics que volen interoperar.

7. ***Els models de capacitat i maduresa***, com a eina per avaluar la capacitat i el nivell que tenen les empreses d'interoperar i proposar-hi millores.

Per cadascun dels àmbits estudiats, es fa una introducció general dels resultats més rellevants, es descriu com són aplicables a la millora i la implantació de la interoperabilitat, i quins resultats s'han produït específicament a l'àmbit de la interoperabilitat quan és adient, tal com es mostra de manera resumida en la taula 2.1.

Àmbit d'Investigació	Aplicat en interoperabilitat
Arquitectures en integració empresarial	Marcos i arquitectures en interoperabilitat empresarial
Modelització empresarial	Llenguatges d'intercanvi i sincronització de models
Arquitectura dirigida per models i MDA	Interoperabilitat dirigida per models (MDI)
Gestió del coneixement	Modelat del coneixement empresarial per a l'enfocament MDI
Ontologies	Ontologies de suport a la interoperabilitat i la semàntica
Tecnologies de la informació i les comunicacions (TIC)	Estàndards i mecanismes d'intercanvi
Models de maduresa	Models de maduresa en interoperabilitat

Taula 2.1. Relació d'àmbits i resultats aplicats a la interoperabilitat.

2.1. Arquitectures de referència

Les arquitectures de referència es consideren una eina robusta que permet desenvolupar sistemes i projectes empresarials amb el suport d'una guia fonamentada en la investigació i l'aplicació pràctica amb èxit. Durant els anys 80 diferents grups d'investigació i desenvolupament internacionals han proposat diferents arquitectures que s'han analitzat i revisat en diversos estudis (AMICE, 1991), (Bernus, 1996), (Williams, 1993), (Chalmeta, 2001). Aquestes arquitectures inclouen metodologies per al desenvolupament de sistemes empresarials complets, llenguatges de modelització empresarial per a representar tots els models necessaris per a l'anàlisi, disseny i implementació de l'empresa seguint la metodologia, eines de suport al desenvolupament dels models i models de referència que guien en l'aplicació de l'arquitectura.

En aquesta secció, en primer lloc, es descriuen amb més detall algunes de les arquitectures en integració empresarial més acceptades i, en segon lloc, es fa una revisió de les iniciatives de propostes a l'àmbit de les arquitectures i marcs metodològics en interoperabilitat.

2.1.1. Arquitectures de referència en integració empresarial

Una arquitectura de referència en integració empresarial és un marc que guia durant el projecte de disseny i implementació d'un sistema empresarial integrat mitjançant una metodologia estructurada, la formalització d'operacions i el suport d'eines adequades (Burkel, 1991).

A continuació es descriuen breument algunes de les més conegudes i admeses a l'entorn de la investigació i l'empresa per la seua aplicabilitat i fonaments teòrics:

- **CIMOSA** (CIM Open System Architecture) arquitectura presentada en el programa ESPRIT de la Unió Europea (número 688, 2422 y 5288), pel consorci AMICE (AMICE, 1991); proporciona unes guies, una arquitectura i un llenguatge de modelització empresarial d'alt nivell que cobreix els aspectes funcionals, organitzacionals, d'informació i de recursos de l'empresa. El treball de CIMOSA ha originat dos pre-normes europees produïdes pel CEN TC 310/WG1: ENV 40003 (marc per la modelització empresarial) i ENV 14204 (constructors per a la modelització empresarial) (Berio, 1999).
- **PERA** (Purdue University Reference Architecture) arquitectura desenvolupada per la Purdue University (USA) és una metodologia detallada per a l'enginyeria empresarial de plantes industrials. No proporciona constructors de la modelització però sí models de referència (Williams, 1993).
- **GRAI-GIM** (GRAI Integrated Methodology) arquitectura derivada del treball dut a terme per diferents projectes subvencionats pel programa ESPRIT com ara IMPACS (número 2338) i pel GRAI/LAP de la Université de Bordeaux 1 (France) (Doumeingts, 1988), és una metodologia per al disseny i anàlisi de sistemes integrats basada en el mètode GRAI (Doumeingts, 1992). Inclou mètodes de modelització (GRAI, IDEF0, MERISE) i està enfocada als sistemes d'anàlisi de decisions de l'empresa.
- **GERAM (Generalized Enterprise Reference Architecture and Methodology)** és una generalització de CIMOSA, GIM i PERA. La IFIP-IFAC Task Force on Architecture for Enterprise Integration (IFIP-IFAC, 1999) va estudiar arquitectures empresarials de caràcter general proposades a l'àmbit internacional, entre les quals es troben les descrites en aquest apartat, amb l'objectiu d'homogeneïtzar les propostes i arribar a

una estandardització (Bernus, 1996, 1998). Encara que, malgrat els esforços, no es va aconseguir tenir una arquitectura de referència de consens, es va definir una arquitectura de referència que aglutina els aspectes més positius de cadascuna de les analitzades i es van definir els requisits que havia de complir una arquitectura per a ser consirada com a tal. El resultat va ser GERAM, que proveeix guies metodològiques per a l'enginyeria de l'empresa (de PERA i GIM), un cicle de vida del sistema (de PERA), i constructors per a la modelització empresarial (e.g. els de CIMOSA), com es mostra en la figura 2.1. GERAM és part de la ISO IS 15704 (ISO TC184/SC5), que defineix els requisits per a les metodologies i arquitectures de referència empresarial.

Encara que la major part de les arquitectures de referència estan orientades al concepte del cicle de vida de l'empresa, les diferències més clares són que, per una banda, cobreixen parts diferents d'aquest cicle de vida i, per una altra, els llenguatges de modelització que hi proposen (constructors i nomenclatura) són diferents. L'orientació i la finalitat amb la qual s'han definit les arquitectures fan que els models proposats tinguin enfocaments diferents, considerant quina és la meta que els grups responsables de la seua definició han perseguit. A la Taula 2.2 es presenta el resum sobre les arquitectures descrites en aquest secció (Kosanke, 1996), tenint en compte les diferents fases del cicle de vida, partint de la base de les fases definides en GERAM.

GERAM	PERA	GRAI	CIMOSA	ARIS
Identificació	Identificació de l'Entitat de Negoci Empresarial (ENE)	No definit	No definit	No definit
Concepte	Capa de concepte ENE	No definit	No definit	No definit
Requisits	Capa de definició ENE	Anàlisi a nivell de concepte	Definició de Requisits	Concepte d'operació
Disseny	Capa d'especificació i de disseny detallat ENE	Disseny orientat a l'usuari a nivell d'estructura	Disseny d'especificació	Concepte de sistema informàtic
Implementació	Capa de manifestació		Descripció de la implementació	
Operació	Capa d'operació ENE		Operació	
Canvi de sistema	Actualització del model		Manteniment del model	

Taula 2.2. Arquitectures i cicle de vida.

2. Estat de l'art en interoperabilitat empresarial

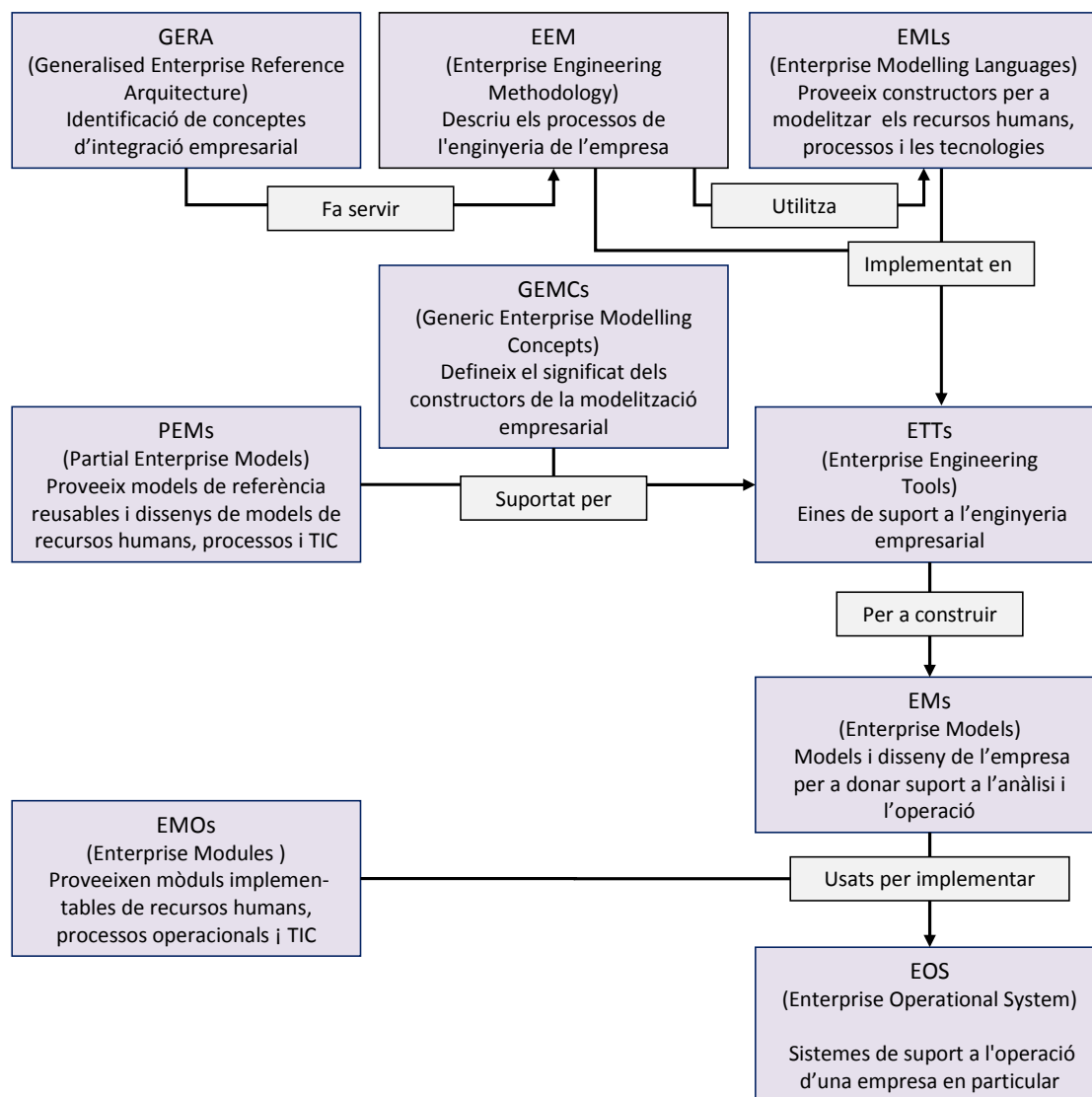


Figura 2.1. Arquitectura GERAM 2.1 (Bernus,1996).

Un altre exemple, amb un enfocament un poc diferent, d'aquestes incitatives és el Marc de Zachman (Zachman, 1987, 2003). John Zachman va establir a l'any 1987 el primer marc per definir l'arquitectura d'un sistema d'informació, el qual es va denominar inicialment Framework for Information Systems Architecture, encara que actualment és conegut com 'Zachman Framework'. Aquest marc proveeix d'una estructura lògica per classificar les representacions descriptives d'una empresa que són necessàries per a la gestió de l'empresa i el

desenvolupament dels sistemes empresarials. És a dir, estructura diversos models empresarials i conceptes d'acord amb el punt de vista de diferents agents involucrats en l'enginyeria de l'empresa. Tal com es pot veure a la figura 2.3, per a cada fase (identificació, definició, representació, especificació, configuració i instanciació), es plantegen les preguntes *què, com, quan qui, on i per què*, per a identificar les representacions de qualsevol concepte en l'empresa.

Fase Responsable	Dades (Què)	Funció (Com)	Xarxa (On)	Persones (Qui)	Temps (Quan)	Motivació (Per què)
Objectius/ Abast (Context) Planificador	Llistat de coses importants per a l'empresa	Llistat de processos que l'empresa executa	Llistat de llocs on opera	Llistat d'estructura organitzacional	Llistat d'esdeveniments de negocis i cicles	Llistat d'objectius de negoci
Model conceptual del negoci Propietari	Diagrama entitat relació (incloent relacions, multiplicitat i atributs)	Model de processos de negoci (diagrama de flux de dades físic)	Xarxa logística (nodes i connexions)	Organigrama, amb funcions, conjunt d'habilitats, i temes de seguretat	Esquema temporal de negocis (planificació temporal)	Regles de negoci
Model del sistema (Lògic) Dissenyador	Models de dades (normalitzat)	Diagrama de flux de dades essencial, arquitectura del sistema	Arquitectura del sistema distribuït	Arquitecturas d'interfícies d'usuari	Diagrama de dependències, història de la vida de les entitats	Models de funcions assignades de negoci
Model tecnològic (Físic) Constructor	Arquitectura de dades	Disseny del diagrama d'estructura del sistema. Pseudocodi	Arquitectura del sistema (maquinari, tipus de programari)	Interfície d'usuari, disseny de seguretat	Diagrama de flux de control	Disseny de les regles de negoci
Representacions detallades	Disseny de dades desnormalització, disseny de l'emmagatzematge físic.	Disseny detallat de programes	Arquitectura de la xarxa	Pantalles, arquitectura de seguretat	Definicions temporals	Especificació de les regles en la lògica dels programes
Empresa/ Sistema Funcionant	Dades convertides	Programes executables	Dispositius de comunicació	Persones formades	Esdeveniments de negoci	Regles reforçades

Taula 2.3. Marc de Zachman (Zachman, 2003).

2. Estat de l'art en interoperabilitat empresarial

Tenint en compte el seu caràcter generalista i la seua simplicitat, aquest marc pot ser considerat en qualsevol desenvolupament de projectes d'enginyeria en l'empresa i per tant els seus principis fonamentals són aplicables a projectes d'implantació i millora de la interoperabilitat.

2.1.2. Arquitectures i marcs d'interoperabilitat empresarial

Partint d'algunes de les arquitectures descrites com a base en el camp d'investigació en interoperabilitat, les propostes més recents i completes defineixen el que es denomina un **marc d'interoperabilitat**, com s'ha mencionat abans, i alguns casos es parla d'**arquitectura en interoperabilitat empresarial**.

En termes general l'objectiu d'un marc és proporcionar un mecanisme organitzat en el qual conceptes, problemes, i el coneixement en un àmbit, en aquest cas en interoperabilitat empresarial, pot ser presentat d'una manera estructurada (Vernadat, 2007).

La preocupació per l'establiment de principis de l'enginyeria empresarial a l'àmbit de la interoperabilitat amb l'objectiu d'aconseguir millors pràctiques i mètodes fonamentats en la investigació, ha produït en les últimes dècades nombroses iniciatives finançades per organismes dels sectors públics en general i algunes dels privats. Aquestes iniciatives han permès dur a terme projectes amb durades de diversos anys i organitzar grups de treball, els resultats dels quals inclouen, entre altres, metodologies, marcs, models de maduresa, millors pràctiques i recomanacions sobre el desenvolupament i millora de la interoperabilitat.

En aquesta secció es presenten alguns dels projectes que, tenint en compte els seus resultats, tenen més repercussió a l'àmbit de la interoperabilitat i en els temes objecte d'estudi d'aquesta tesi. Per cadascuna de les propostes es presenta la definició d'interoperabilitat que proposen i quin és l'enfocament que adopten per tal de proveir de mètodes i solucions a la realització de millores i projectes d'interoperabilitat.

2.1.2.1. Marc de referència del DoD de C4ISR

C4ISR AWG correspon a l'acrònim de Command, Control, Communications, Computers and Intelligence Surveillance and Reconnaissance Architecture Working Group. L'any 1998 un informe al Congrés dels Estats Units, del secretari de Defensa, citava que *les operacions*

conjuntes s'havien vist obstaculitzades per la falta d'habilitat de les forces armades per 'compartir' informació crítica en el temps i en les localitzacions demanades per un exèrcit modern. Sèries deficiències en interoperabilitat s'havien perpetuat a tots els serveis, i s'havien identificat en totes les operacions i exercicis conjunts recents (Kasunic, 2004).

El Departament de Defensa (DoD) dels Estats Units, conscient de la necessitat de traure beneficis de les tecnologies de la informació, que evolucionen de manera ràpida i canviant, desenvolupa estratègies i fomenta la investigació per tal de promoure la interoperabilitat i altres aspectes que donen suport al funcionament de les operacions militars on intervenen diferents forces, unitats i exèrcits i en les quals es col·labora amb altres països.

El DoD defineix **interoperabilitat** com *l'habilitat dels sistemes, unitats o forces de proveir serveis i acceptar serveis d'altres sistemes, unitats o forces i utilitzar els serveis intercanviats per capacitar-los a operar junts de manera efectiva (C4ISR, 1997).*

Dintre d'aquest marc es proposa una arquitectura de suport a la interoperabilitat denominada Joint Triad Architecture com una conjunció de tres arquitectures que es mostren en la figura 2.2.

1. **JOA** (Joint Operation Architecture) descriu els elements operacionals, les tasques assignades i els fluxos d'informació per donar suport a les accions militars.
2. **JSA** (Joint Systems Architecture) és una descripció incloent-hi models de les interconnexions dels sistemes que donen suport a les operacions.
3. **JTA** (Joint Technical Architecture) identifica els serveis dels sistemes, les interfícies, els estàndards i les seues relacions. Proveeix el marc on les especificacions dels sistemes poden ser dissenyades i guia la implementació del sistema. El seu objectiu és proporcionar un conjunt d'estàndards tècnics correctes i mútuament consistents, interfícies d'aplicacions (APIs) i protocols, així com les regles per usar-los.

Són nombrosos els treballs i publicacions de caràcter científic que es poden trobar publicats pel DoD, però com a resultats més rellevants s'ha de destacar el model de referència LISI que inclou el model de maduresa en interoperabilitat LISI i que es descriu en detall a l'apartat 2.7.2.1.

2. Estat de l'art en interoperabilitat empresarial

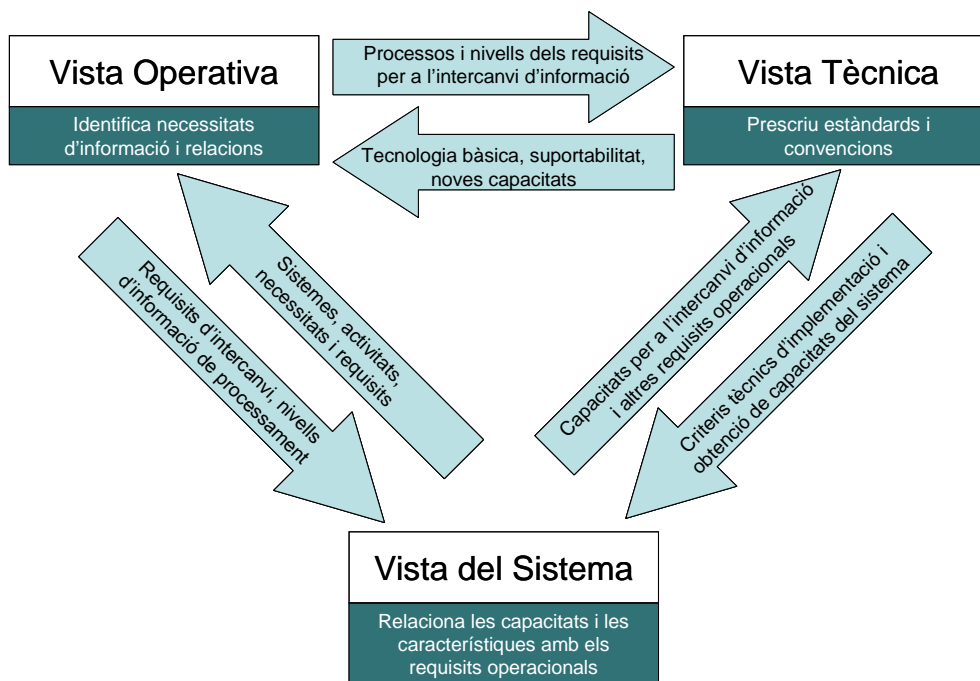


Figura 2.2. Vistes de l'Arquitectura del DoD (C4ISR,1997).

2.1.2.2. Marc d'interoperabilitat d'IDEAS

La interoperabilitat dels sistemes empresarials i del programari estan considerats temes estratègics per la Comissió Europea. La quantitat de petites i mitjanes empreses (PIMEs), en un percentatge prou superior del que ocorre en Estats Units o Japó, el nombre de llengües i cultures diferents, i la necessitat d'unir esforços per ser competitius al mercat internacional, fan que el desenvolupament de la interoperabilitat siga un factor clau per a les empreses europees a l'hora d'obtenir beneficis i avantatges en termes de compartiment de coneixement.

Als anys 2000, la Comissió Europea va crear un grup d'experts per identificar la problemàtica i els enfocaments relacionats amb la interoperabilitat i per fer propostes per a promoure projectes en aquest àmbit (Chen, 2003). Es van identificar tres grans àrees d'investigació o dominis adreçats a la interoperabilitat que són, tal com es mostra en la figura 2.3:

1. **La modelització empresarial (EM)**, que tracta de la representació de les col·laboracions per definir els requisits de la interoperabilitat i dóna suport a la implementació de solucions.

2. **Les arquitectures i plataformes** que proporcionen el suport tecnològic a la implementació de la interoperabilitat.
3. **Les ontologies** per identificar la interoperabilitat semàntica entre empreses.

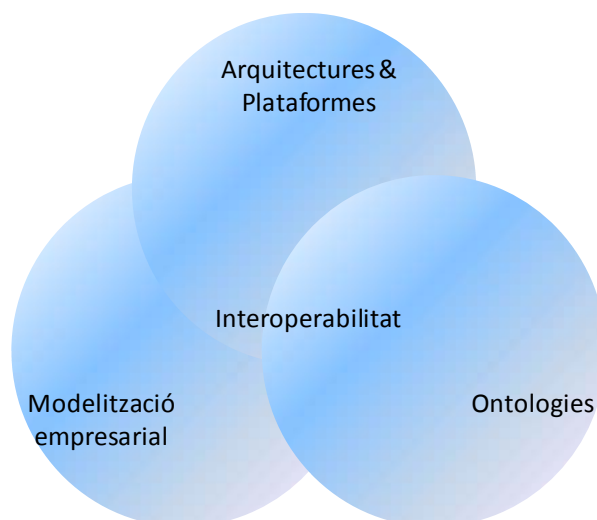


Figura 2.3. Dominis de la interoperabilitat.

Els objectius d'IDEAS eren (IST, 2001):

- Elaborar un mapa estratègic al context de la interoperabilitat del programari i les aplicacions per als següents 10 anys (CORDIS, 2006). Aquest mapa inclou l'orientació dels projectes definits en el Sisè Programa Marc (FP6), dels quals el projecte integrat ATHENA (ATHENA, 2007a) i la xarxa d'excel·lència INTEROP (INTEROP, 2003) van ser-ne dues de les principals iniciatives.
- Proposar a la Unió Europea una estructura i organització per a donar suport a la implementació d'aquest mapa estratègic.

En la xarxa IDEAS la definició **d'interoperabilitat** està enfocada a *l'habilitat de les aplicacions de programari empresarial per interactuar les unes amb les altres. Es considera que s'ha assolit la interoperabilitat entre empreses si té lloc a tres nivells: dades, aplicacions i processos de negoci.*

2. Estat de l'art en interoperabilitat empresarial

El principal resultat del projecte IDEAS mostra els mapes de les línies d'investigació per als següents anys, desenvolupats a partir de les deficiències identificades en el projecte per a cadascuna de les àrees analitzades (arquitectures i plataformes tecnològiques, modelització empresarial i ontologies) (IDEAS, 2006).

El marc d'interoperabilitat que proposa IDEAS es basa en: el marc proposat per ECMA (Ecma, 2008) i NIST (Nist, 1994) conegut com ECMA/NIST Toaster Model (Boehm, 1996), les normes ISO 19101 i ISO 19119 i atributs de qualitat definits en IDEAS. Aquest marc intenta reflectir el fet que la interoperabilitat s'assoleix en múltiples capes, per la qual cosa considera la capa de negoci, la capa de coneixement i la capa dels sistemes TIC.

- Pel que fa a la **capa de negoci**, s'inclouen tots aquells aspectes relacionats amb l'organització i gestió de l'empresa. La interoperabilitat en aquesta capa es mostra com la habilitat organitzacional i operacional d'una empresa per a cooperar amb altres. Aquesta capa inclou els model decisional, el model de negoci i els processos de negoci.
- La **capa del coneixement**, pel que fa a la interoperabilitat considera la compatibilitat de les habilitats, capacitats, competències i coneixement entre empreses que hi col·laboren. S'hi inclou el coneixement relacionat amb aspectes interns i aspectes externs com els proveïdors i els clients, lleis, obligacions legals i relacions amb institucions públiques. Inclou el model organitzacional i el model de competències i habilitats, entre altres.
- Pel que fa a la interoperabilitat al nivell dels **sistemes TIC** es pot considerar com l'habilitat dels sistemes de comunicacions i d'informació d'una empresa de cooperar amb altres d'organitzacions externes. Per tant té a veure amb l'ús de les TIC per sustentar la interacció entre els recursos de les empreses.

En el marc d'IDEAS també es tracta aspectes de les ontologies com a suport a la interoperabilitat, tenint en compte que s'ha de cobrir la capa de la semàntica, que com s'ha vist en el capítol 1 es representa transversal (figura 1.1). Atès que l'aproximació a la interoperabilitat requereix considerar la semàntica en cadascuna de les altres capes, les ontologies són l'eina que s'ha d'utilitzar per a poder intercanviar conceptes de manera inequívoca.

Aquest marc, encara que molt teòric, ha assentat les bases fonamentals dels projectes que s'han desenvolupat posteriorment, i quins són els aspectes essencials a considerar a l'hora de

definir mètodes i marcs d'interoperabilitat a l'àmbit europeu. Entre altres aportacions enumera quines són les mancances identificades pels experts com a necessitats de millora en la investigació en interoperabilitat, i per tant defineix les línies cap on s'ha d'enfocar la investigació els següents anys.

2.1.2.3. ATHENA Interoperability Framework

ATHENA (Advanced Technologies for Interoperability of Heterogeneous Enterprise Networks and their Applications) (ATHENA, 2007a) és un Projecte Integrat finançat per la Unió Europea dintre de l'acció IST del 6é Programa Marc (FP6) que proporciona un extens marc per a la interoperabilitat. ATHENA es situa en el context en el qual les empreses es troben immerses en un entorn globalitzat, la qual cosa demana d'una major flexibilitat i col·laboració entre elles. Per tant, la interoperabilitat de les aplicacions i sistemes empresarials es converteix en una necessitat per a la millora de la productivitat i la competitivitat de les empreses.

El marc proposat per ATHENA (ATHENA, 2007b), (Berre, 2007) proporciona un conjunt de solucions tècniques que faciliten la interoperabilitat, incloent-hi prototipus, especificacions tècniques, metodologies i millors pràctiques. En el projecte es pretén treballar de manera conjunta amb la comunitat de fabricants de solucions informàtiques i així aconseguir que els resultats siguin transferits a la indústria i es cree una nova cultura de negoci basada en la interoperabilitat. El projecte està organitzat en tres línies d'acció: la primera d'investigació i desenvolupament enfocats a la tecnologia; la segona de fabricants enfocats al negoci; la tercera enfocada a l'organització del propi projecte.

Pel que fa a la línia d'investigació, es centra a les àrees de negoci, de coneixement i de sistemes i tecnologies de la informació (TIC). Coincidint amb les tres capes definides en l'empresa per arribar a la interoperabilitat plena.

En aquest marc es defineix **interoperabilitat** com *la capacitat d'un sistema o producte per treballar amb altres sistemes o productes sense un esforç especial per part del client*. A nivell d'aplicacions i programari empresarial es tradueix com la capacitat d'interactuar, almenys en tres àrees: dades, aplicacions i negoci empresarial.

Entre els resultats del projecte cal destacar la definició del llenguatge d'intercanvi POP*, mitjançant el qual és possible intercanviar models empresarials realitzats amb llenguatges de modelització diferents i que es descriu en més detall a l'apartat 2.2.2.1.

2. Estat de l'art en interoperabilitat empresarial

Com una mesura per afavorir a llarg termini una creixent interoperabilitat entre les empreses, el projecte ATHENA inclou entre altres objectius l'establiment de l'Enterprise Interoperability Center (EIC) (EIC, 2008). L'EIC, que actualment ja està en marxa, promou la interoperabilitat deixant que els usuaris definisquen les seues necessitats i requisits en una cadena de valor específica. Els requisits s'utilitzen per identificar i fomentar l'aplicació d'adequats estàndards industrials i per identificar deficiències en els estàndards i especificacions actuals. L'EIC fomenta els estàndards i les especificacions existents quan és possible, i treballa amb les comunitats i organitzacions promotores d'estàndards per tal de tancar qualsevol deficiència identificada, tot amb l'objectiu de capacitar la completa interoperabilitat en escenaris de cadenes de valor. Els principis d'aquest centre són obertura, transparència, credibilitat i independència en forma d'una associació equitativa i oberta.

El marc d'interoperabilitat d'ATHENA inclou una **arquitectura de referència en interoperabilitat** i una **metodologia** denominada ATHENA Interoperability Methodology (AIM).

L'arquitectura de referència d'ATHENA (ATHENA, 2007b) té com a objectiu identificar artefactes de la investigació i solucions a temes d'interoperabilitat, que s'adrecen al problema relacionant informació rellevant des de diferents perspectives de l'empresa. Per arribar a la solució té en compte les tres àrees d'investigació identificades en els marcs europeus: modelització empresarial, arquitectures i plataformes, i ontologies. En la figura 2.4 es mostra aquesta arquitectura que es centra als artefactes sol·licitats i als proveïts de dues empreses que col·laboren. La interoperabilitat pot tenir lloc a diversos nivells: empresa/negoci, processos, serveis i informació/dades.

Per cadascun d'aquests nivells es prescriu un enfocament dirigit per models on els models s'utilitzen per formalitzar i externalitzar els artefactes que han de ser compatibles, tal com es descriu a continuació:

- La modelització empresarial col·laborativa es preocupa de l'intercanvi i l'alineació de models de coneixement per a descriure els processos, l'organització, els productes i els sistemes en el context de la col·laboració.
- La modelització de processos inter-organizacionals s'enfoca a la definició de les vistes dels processos que defineixen les iteracions entre dos o més entitats de negoci.

- L'execució flexible dels serveis està relacionada amb la identificació, composició i execució de diverses aplicacions.
- La informació de la interoperabilitat està relacionada amb el maneig, intercanvi i processat de diferents documents, missatges i altres estructures d'informació.

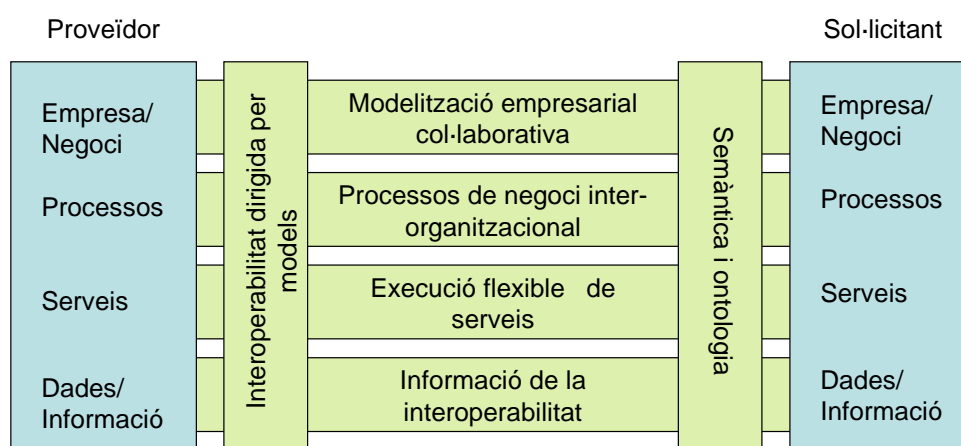


Figura 2.4. Arquitectura d'Interoperabilitat d'ATHENA (ATHENA, 2007b).

Per poder superar les barreres semàntiques que es produeixen degudes a diferents interpretacions de descripcions sintàctiques, s'ha d'associar als models dissenyats en cadascun dels nivells, significats precisos i processats per ordinador. S'ha d'assegurar que la semàntica pot ser intercanviada i que es basa en una comprensió comuna, per augmentar la interoperabilitat. Aquest objectiu pot ser-hi assolit mitjançant l'ús d'ontologies i formalismes per a definir el significat dels models intercanviats.

La metodologia AIM (ATHENA, 2007b) defineix i organitza les fases del cicle de vida d'un projecte d'interoperabilitat i les disciplines a dur a terme. Per cada fase i disciplina la metodologia recomana el conjunt d'activitats a realitzar. En aquesta metodologia s'enfoquen els projectes d'interoperabilitat des de l'inici, quan es decideix avaluar la col·laboració fins al manteniment de la solució. L'AIM es veu des d'una perspectiva global, visualitzant l'estructura essencial de fases i disciplines tal com es pot observar a la figura 2.5. Les fases del cicle de vida del projecte es mostren en les columnes. Les files de la figura assenyalen el conjunt de principis que caracteritzen l'enfocament per a la definició, creació, operació i finalització d'un projecte d'interoperabilitat.

2. Estat de l'art en interoperabilitat empresarial

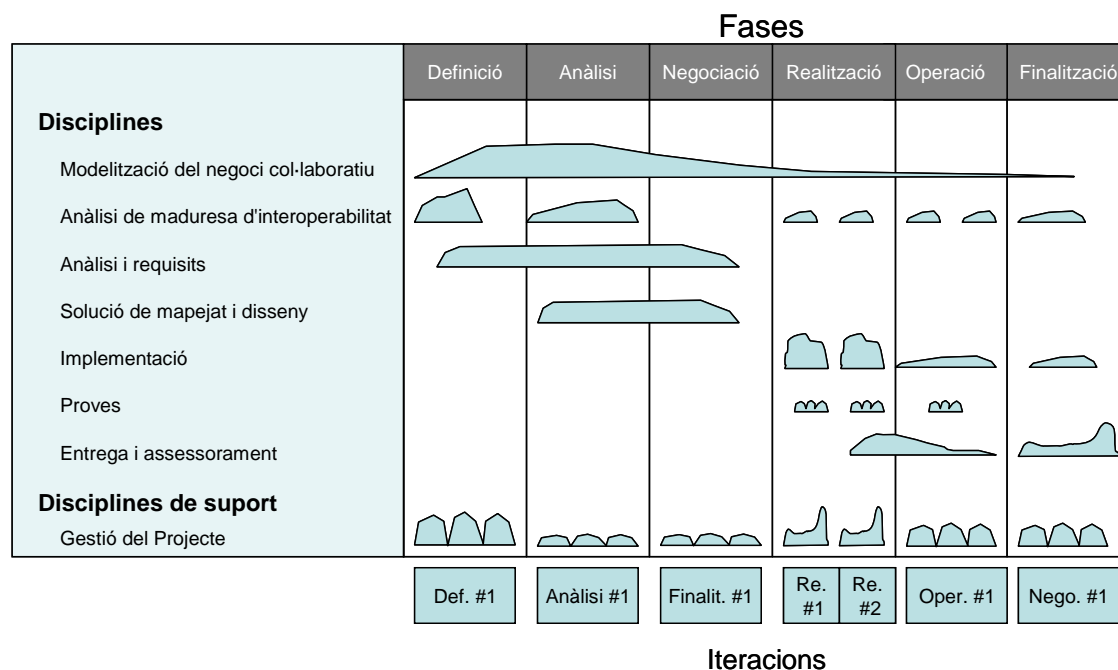


Figura 2.5. Metodologia proposada en ATHENA inspirada en UML (OMG, 2007b, 2007c).

En aquest context una disciplina d'interoperabilitat és un grup d'activitats d'un determinat camp de la interoperabilitat que s'agrupen de manera lògica. En cada disciplina la metodologia recomana conjunts d'activitats que han de ser desenvolupades en cadascuna de les diferents fases del projecte.

ATHENA proporciona un marc de referència per a guiar quan s'assumeix la realització de projectes d'interoperabilitat. Encara que les versions publicades són més prompte teòriques, es considera un bon punt de partida i es suggereixen recomanacions per fer d'aquest marc una solució pràctica i aplicable.

2.1.2.4. Marc d'INTEROP

INTEROP (Interoperability Research for Networked Enterprises Applications Software) (INTEROP, 2003) és una xarxa d'excel·lència finançada per la Unió Europea dintre de l'acció IST del 6é Programa Marc (FP6) iniciat en 2003 i amb una durada de tres anys i mig. El seu principal objectiu és crear les condicions per a una investigació innovadora i competitiva a

l'àmbit de la interoperabilitat de les aplicacions i el programari empresarial. El projecte vol facilitar una investigació emergent en interoperabilitat mitjançant la fusió de les tres àrees de coneixement: la modelització empresarial (EM), les arquitectures i plataformes (A&P) i les ontologies (ONTO).

Els principals objectius i resultats obtinguts d'aquesta xarxa d'excel·lència es poden resumir en:

- Crear un laboratori virtual temàtic en el domini d'investigació europeu sobre la interoperabilitat de les aplicacions empresarials, enfocat tant a la investigació com a la indústria.
- Crear les condicions de transferència de tecnologia competitiva proporcionant una ascendent conceptualització de la interoperabilitat guiada pel negoci, tenint com a finalitat darrera l'estudi de la interoperabilitat en les tres àrees de coneixement mencionades. La principal meta d'INTEROP pel que fa a aquest objectiu és impactar en el coneixement, l'educació i la formació.
- Integrar el coneixement, duent a terme un enfocament multidisciplinari per aconseguir la interoperabilitat basada en el negoci.

Aquests tres objectius s'han materialitzat amb la fundació de l'organització internacional sense ànim lucratiu INTEROP-VLab (INTEROP, 2008), International Virtual Laboratory for Enterprise Interoperability. La missió d'aquesta organització és consolidar, desenvolupar i mantenir de manera duradora la comunitat investigadora creada en INTEROP. Entre altres serveis s'inclouen una plataforma d'aprenentatge virtual (I-V e-Learning Platform) i un repositori oficial dels documents públics generats en diferents projectes europeus a l'àmbit de la interoperabilitat (IDEAS, ATHENA, INTEROP, Fusion, Genesis, etc.) i està obert a incorporar documents públics d'altres projectes que es puguin engegar.

En INTEROP es defineix la interoperabilitat *com l'habilitat d'un sistema d'intercanviar informació i serveis, en un entorn heterogeni des del punt de vista organitzacional i tecnològic*. A més es remarca que la interoperabilitat ha de ser considerada un problema que no només tracta els aspectes tecnològics, sinó que ha de considerar també altres aspectes de l'empresa. Per tant, desenvolupar interoperabilitat significa produir coneixement que permet superar les incompatibilitats que poden existir entre dos sistemes heterogenis (Chen, 2002).

2. Estat de l'art en interoperabilitat empresarial

El marc d'interoperabilitat que es proposa en INTEROP es mostra com un cub de tres dimensions que representen:

1. Les **barreres** que identifiquen els obstacles que inhibeixen la interoperabilitat, que són conceptuals, organitzacionals i tecnològiques.
2. Els **concernents**, aspectes de la interoperabilitat que han de donar-se a diversos nivells de l'empresa, que són: negoci, processos, serveis i dades.
3. Els **enfocaments** que representen les diferents maneres mitjançant les quals es pot eliminar les barreres, que són: federat, unificat i integrat.

En la figura 2.6. es mostren les dues primeres dimensions. Com es veu en la intersecció de cada aspecte que concerneix a la interoperabilitat i cadascuna de les barreres es defineixen aquells temes que tenen a veure amb les solucions a aplicar. La intersecció de cada enfocament amb cada concernent i cada barrera, donaria lloc a definir les solucions i coneixement que es poden aplicar.

Per tal de definir solucions als problemes d'interoperabilitat en INTEROP es van definir diferents enfocaments i àrees a partir de les quals plantejar les solucions en interoperabilitat. Organitzats segons els dominis proposats en IDEAS (EM, A&P i Ontologies), a continuació es resumeixen quins són els resultats més rellevants pel que fa a propostes metodològiques:

- Ús del metallenguatge d'intercanvi UEML¹, el qual es va enriquir amb nous requisits i detalls durant el treball de la xarxa.
- Definició de mètodes i patrons de suport a la sincronització de models empresarials.
- Ontologies com a suport a la capa semàntica.
- Arquitectures i plataformes tecnològiques de suport a la implementació de la interoperabilitat.
- Definició d'una metodologia MDI¹ per a l'establiment de la interoperabilitat dirigida per models.

¹ UEML (Unified Enterprise Modelling Language) resultat de la xarxa del mateix nom (UEML, 2007), es detalla en l'apartat 2.2.2.1.

Barreres			
Aspectes	Conceptual	Organitzacional	Tecnològica
Negoci	Visió, estratègia, cultures, comprensió	Mètodes de treball, lleis, estructures organitzatives	Infraestructures tecnològiques
Processos	Sintaxi i semàntica dels processos	Procediments treball, modes d'operació, processos organització	Procés per fer funcionar el sistema
Serveis	Semàntica per a anomenar i descriure els serveis	Responsabilitat, autoritat per gestionar els serveis	Arquitectura, interfícies
Dades	Representació de dades i semàntica, regles de restricció	Responsabilitat, autoritat per afegir, eliminar, modificar	Formats d'intercanvi de dades

Figura 2.6. Aspectes i barreres del marc d'INTEROP (Chen, 2002).

2.1.2.5. Propostes metodològiques d'interoperabilitat de l'OMG

OMG (Object Management Group) (OMG, 2007a) és un consorci de venedors d'aplicacions de programari, desenvolupadors i usuaris finals constituït al 1989. Considerant l'àmbit de la interoperabilitat, una de les principals aportacions d'aquest grup és l'Object Management Architecture utilitzada com un model de referència per a desenvolupar aplicacions orientades a objectes (OMG, 2009a). Aquest model, també conegut com CORBA, inclou quatre components:

- Object Request Broker: que permet les aplicacions comunicar-se.
- Serveis d'objectes (Object Services): que suporten el cicle de vida de gestió dels objectes.
- Utilitats comunes (Common Facilities): que són les funcions genèriques com la impressió, el correu electrònic, etc.
- Interfícies del domini (Domain Interfaces) proporciona les funcionalitats per als interessos dels usuaris finals.

¹ MDI (Model Driven Interoperability) es descriu a l'apartat 2.3.2.

2. Estat de l'art en interoperabilitat empresarial

Aquesta arquitectura està enfocada exclusivament a qüestions relatives als sistemes orientats a objectes distribuïts. Actualment s'ha integrat amb la denominada MDA (Model Driven Architecture) que es tracta en detall a l'apartat 2.3.1.

Les iniciatives que promulga l'OMG són considerades estàndards de facto i la seua orientació a objectes proveeix un enfocament que facilita la interoperabilitat entre els sistemes.

De manera explícita, a l'àmbit de la interoperabilitat hi ha grups de treball que estan incloent entre els seus objectius propostes conduents a generar models i arquitectures, sobretot dintre del marc de MDA. Pel que fa la interoperabilitat entre els diferents estàndards existents hi ha publicat el 'Compromís d'Interoperabilitat' (Interoperability Pledge) que es cita a continuació (OMG, 2009b):

Grups d'estàndards d'arreu del món ens hem unit amb l'interès de promoure la interoperabilitat entre els estàndards. Hem acordat les següent accions:

- 1. Respectarem i farem ús efectiu de les inversions dels nostres membres tractant de trobar maneres d'evitar la duplicitat d'esforços i desenvolupaments superposats, notificant-nos els uns als altres quan qualsevol nou treball s'inicie.*
- 2. Encoratjarem els nostres grups de treballs tècnics per a interactuar amb altres consorcis en esforços relacionats.*
- 3. Comunicarem en un fòrum obert amb condicions regulades, conferències programades per revisar superposicions potencials.*
- 4. Participarem en reunions regulars presencials en la Cimera d'Interoperabilitat.*

Aquest compromís reflecteix la preocupació d'establir unes normes que asseguruen per una banda, la interoperabilitat dels sistemes i dels productes que es desenvolupen per oferir productes adients sense duplicar resultats des de diferents organitzacions i, per una altra, la necessitat de usar de manera eficient els recursos i definir una ètica o codi deontològic dintre de l'àmbit d'aquestes organitzacions.

2.1.2.6. Australian Government Interoperability Framework

El marc d'interoperabilitat del Govern australià està adreçat a les dimensions de la informació, dels processos de negoci i de les tecnologies en la interoperabilitat. Estableix els principis, estàndards i metodologies que donen suport al lliurament de serveis d'interoperabilitat (Agiif,

2006) i està adreçat a donar suport a agències governamentals que han de col·laborar per donar serveis als ciutadans.

En aquest marc es defineix la **interoperabilitat** com *l'habilitat de treballar conjuntament per donar serveis de manera eficient, uniforme i sense lligam entre múltiples organitzacions i sistemes de tecnologies de la informació*. A més a més, s'identifica com un objectiu clau promoure la interoperabilitat entre agències per arribar a la col·laboració plena governamental.

Es considera que per a ser interoperables les agències s'han d'involucrar de manera activa en el procés d'assegurar que els seus sistemes i activitats de planificació de negocis es gestionen per maximitzar les oportunitats d'intercanvi i reutilització amb i per altres. Per assolir aquest objectiu les agències han de tractar de resoldre diversos aspectes que inclouen, entre altres:

- Acords legals i comercials.
- Requisits de política i negocis.
- Alineació de processos.
- Seguretat.
- Missatgeria.
- Gestió de canals.

Aquests temes s'agrupen en tres capes principals que són: negoci, informació i tecnologia. La capa de negoci inclou el concernent a aspectes legals, comercials de negocis i polítics. La capa d'Informació considera la informació i els processos que transmeten el significat dels negocis. La capa tecnològica considera els estàndards tecnològics com ara els protocols de missatgeria, estàndards de seguretat, XML ('Extensible Markup Language'), llibreries i serveis sintàctics, i llenguatges de descripció de processos. En particular cadascuna d'aquestes capes està suportada per les iniciatives específiques i totes elles a la seua vegada pel National Collaboration Framework que proveu d'una composició de documents reutilitzables i eines amb l'objectiu de proporcionar serveis col·laboratius de qualitat i generar acords entre els departaments del govern australià i les agències.

2.2. Modelització empresarial

Un **model** és una representació simplificada d'una realitat molt més complexa, és a dir, una abstracció, d'una part del món real expressada en un determinat formalisme (Jacobson, 2000). El formalisme utilitzat, denominat **llenguatge de modelització**, ha de proporcionar un conjunt de constructors o elements amb una sintaxi i semàntica definides (que representa cada constructor i com s'anomenen), i un conjunt de regles que s'han de tenir en compte per tal de desenvolupar els models. Els models creats amb aquests llenguatges són habitualment gràfics, encara que s'acompanyen de descripcions textuales que els complementen i aporten detalls.

Quan la realitat representada pel model és una empresa o una organització o una entitat de negoci o sistemes empresarials, es diu que es tracta d'un model empresarial.

La modelització empresarial és el procés de realitzar models empresarials, seguint unes activitats definides i des de diferents punts de vista de l'empresa, (funcional, organitzativa, tecnològica, de processos de decisió, econòmics, etc.), tenint en compte l'objectiu que es persegueix amb el model. Vernadat (1996) defineix la modelització empresarial com l'art d'externalitzar el coneixement empresarial que afegeix valor a l'empresa o necessita ser compartit.

Tenint en compte aquesta definició es dedueix que la modelització empresarial és una eina de suport a l'establiment i millora de la interoperabilitat, perquè permet comprendre i descriure a l'empresa en totes les seues dimensions per a poder analitzar, comparar i avaluar les col·laboracions amb altres empreses i les possibilitats de nous negocis. La interoperabilitat suportada pels models empresarials té a veure amb la interoperació a nivell dels processos de negoci i amb la necessitat d'intercanviar els models. El problema es troba, per una part, amb la gran diversitat de llenguatges de modelització i per una altra, a les característiques pròpies del desenvolupament de models. La modelització és un procés creatiu on els resultats poden variar atenent a factors humans, perquè els dissenyadors són persones que poden tenir diferents cultures, formació, experiència i punts de vista.

2.2.1. Llenguatges de modelització empresarial

Actualment existeixen gran quantitat de llenguatges de modelització empresarial descrits en diferents treballs on es fa una revisió de l'estat de l'art en aquest camp (ATHENA, 2007a), (UEML, 2007), en llenguatges per la modelització de processos de negoci (Aguilar, 2004); i també eines informàtiques que permeten desenvolupar els models amb un suport informatitzat. En a taula 2.4 es mostra a mode de sumari alguns dels llenguatges de modelització empresarial (EML) més reconeguts, alguna de les eines desenvolupades que els suporten i el propòsit al qual s'adrecen.

En les últimes dècades, motivat per la manca d'homogeneïtat pel que fa a l'ús d'aquests llenguatges, s'han desenvolupat projectes i propostes a l'àmbit de la investigació per crear llenguatges que faciliten l'intercanvi entre models desenvolupats amb diferents llenguatges de modelització i/o eines de suport al seu disseny. Són aquests llenguatges els que s'han de considerar a l'hora de proposar solucions per als problemes d'interoperabilitat, perquè permetran transformar models desenvolupats en un llenguatge de modelització, al seu corresponent en un altre llenguatge.

EML	Eina	Propòsit	Organització	
GRAI (LAP/GRAI, 2007).	GraiTools	Decisional	LAP/GRAI	www.graisoft.com
IDEF (IDEF, 2007) Integrated Definition Methodology	IDEF Tools	Processos Sistemes	KBS	www.idefine.com
IEM (IEM, 2003) Integrated Enterprise Modelling	MO ² GO	Processos	IPK	www.ipk.fhg.de
BPM (BPMI, 2010)	Metis	Processos	Computa AS	www.computas.com
UML (OMG, 2007b, 2007c) Unified Modelling Language	IBM Rational Magic Draw	Sistemes	OMG	www.omg.org

Taula 2.4. Exemples de llenguatges de modelització, eines de suport i propòsit.

2.2.2. Modelització empresarial en interoperabilitat

La modelització empresarial en interoperabilitat dóna suport a l'externalització del coneixement de les vistes representades. Quan dues empreses han d'interoperar els models de cadascuna d'elles ha de ser entès pels interlocutors de l'altra empresa. Així, intercanviar parts dels models o fer correspondre els models d'una empresa amb els de l'altra és un aspecte important per col·laborar de manera eficient. Quan aquests models s'han desenvolupat amb llenguatges de modelització diferents, i/o diferents eines de suport aquest intercanvi resulta un problema a

resoldre per al qual s'han desenvolupat diferents plantejaments des del punt de vista de la investigació.

A continuació es descriuen alguns dels aspectes desenvolupats pel que fa a la recerca orientada a l'ús de models empresarials i l'intercanvi de models com a suport de la interoperabilitat.

2.2.2.1. Llenguatges d'intercanvi de models

Els llenguatges d'intercanvi de models són habitualment metallenguatges o simplement metamodels definits per a poder transformar models empresarials desenvolupats en un llenguatge de modelat en models de la mateixa realitat representats en un altre llenguatge, o bé per a poder establir paral·lelismes entre models expressats en llenguatges diferents.

Per assolir aquest objectiu, els llenguatges d'intercanvi defineixen correspondències entre els constructors de diferents llenguatges, mitjançant un metamodel on es representen les relacions entre els diferents constructors dels llenguatges de modelització considerats. Una de les principals deficiències que es troben per poder donar suport a l'intercanvi de models és la falta d'eines de modelització per a aquests llenguatges d'intercanvi (Ducq, 2003). Aquest és un aspecte que preocupa molt a les empreses desenvolupadores d'eines de suport als llenguatges de modelització i en el qual se està treballant per poder oferir als usuaris una utilitat aplicable.

A continuació s'anomenen i descriuen alguns dels que es consideren més acceptats a l'àmbit de la investigació en interoperabilitat empresarial:

- **BPML** (Business Process Modelling Language). BPML (BPML, 2007) és un metallenguatge per a la modelització de processos de negoci, com XML és un metallenguatge per a la modelització de les dades del negoci. BPML proporciona un model d'execució abstracte per als processos de negoci transaccionals col·laboratius basat en el concepte d'una màquina d'estats finits transaccionals.
- **POP***. Aquest metallenguatge va ser desenvolupat en el marc del projecte ATHENA (Grangel, 2005). El seu nom es correspon amb les dimensions de l'empresa tingudes en compte en el context de la modelització empresarial: procés, organització, producte i altres (representat per *) com ara la decisional o d'infraestructures. S'organitza en paquets, cadascun dels quals es correspon amb una de les dimensions. Per a cada

dimensió es dissenya un metamodel amb els constructors necessaris. Com a millora respecte a la resta de metallenguatges d'intercanvi, aquest inclou el suport per a la modelització de productes.

- **UEML** (Unified Enterprise Modelling Language) (UEML, 2007). El principal objectiu d'UEML és proporcionar a la indústria un llenguatge de modelització empresarial unificat i extensible. Com a resultat UEML podia servir com un llenguatge estàndard comú, per intercanviar models generats amb distints llenguatges i amb diferents eines de modelització empresarial. El resultat final es mostra en un metamodel descrit amb un diagrama de classes d'UML¹, on es defineixen la sintaxi abstracta, i les correspondències semàntiques cap a, i des de, tres llenguatges de modelització: IEM, GRAI i EEML².

2.2.2.2. Sincronització de models

L'ús de llenguatges d'intercanvi soluciona el problema de la correspondència entre les representacions dels objectes dels models, però existeixen aspectes conceptuals, d'idioma, culturals o de negoci, respecte al desenvolupament dels models, que no estan completament solucionats simplement traslladant els models d'un llenguatge a una altre.

Per exemple, el mateix procés modelitzat utilitzant el mateix llenguatge amb els mateixos objectius i punts de vista, pot ser diferent si ha estat dissenyat per persones distintes. La raó és l'existència de diferents estructures organitzacionals i culturals i, pel fet que, desenvolupar un model està influenciat, pels factor humans del desenvolupador, com ara el propi idioma, els coneixements específics i les habilitats personals.

Com a complement a l'ús de llenguatges d'intercanvi entre models apareix el concepte de sincronització de models. La sincronització de models empresarial va més enllà de la transformació d'un model desenvolupat en un llenguatge al mateix model en un altre llenguatge. Inclou l'estudi d'aspectes relacionats amb les correspondències entre conceptes utilitzats, manteniment de models per a aconseguir una adaptació flexible a possibles canvis, aspectes culturals i socials, així com seguretat en la manipulació dels models com es mostra en la figura

¹ UML Unified Modeling Language (OMG, 2007Bb, 2007c).

² Inclosos en la taula 2.4.

2. Estat de l'art en interoperabilitat empresarial

2.7. Com a suport a aquest problema es considera l'ús de les ontologies per arribar a la comprensió inequívoca dels conceptes utilitzats, eines de gestió de canvis per a mantenir la consistència entre diferents versions, i propostes de guies per al disseny i l'avaluació dels models.

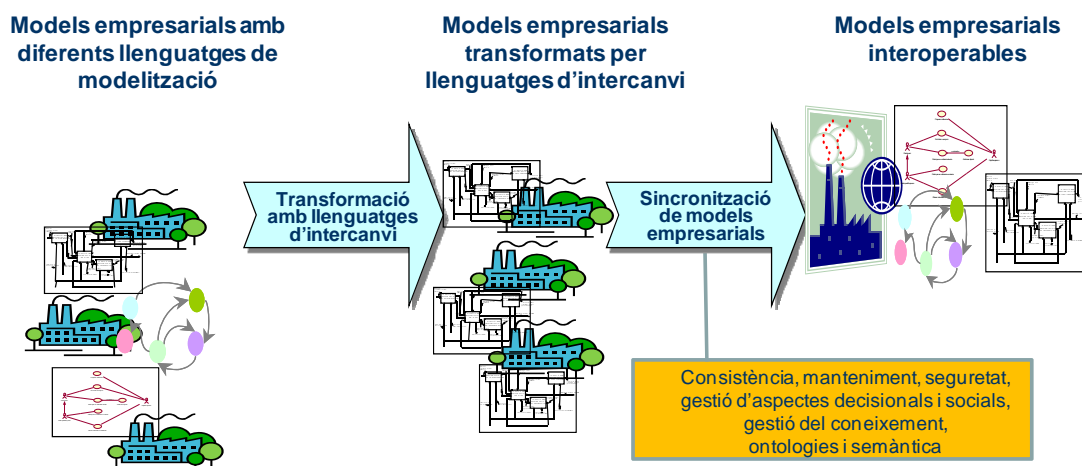


Figura 2.7. La sincronització de models per aconseguir la interoperabilitat.

2.3. Enginyeria dirigida per models (MDE)

Els enfocaments de l'Enginyeria Dirigida per Models (MDE) (Model Driven Engineering), i el Desenvolupament Dirigit per Models, (MDD) (Model Driven Development) són paradigmes que han sorgit en els últims anys al context de l'Enginyeria del Programari. Aquestes iniciatives intenten millorar el procés de desenvolupament de programari amb l'enfocament de tenir els models com a objectes primordials i aplicar transformacions entre models per arribar al codi. Aquest nou enfocament té importants conseqüències en la manera de construir i mantenir sistemes informàtics i per tant en la interoperabilitat d'aquests (Elvesæter, 2005), (Berre, 2004).

2.3.1. Arquitectura dirigida per models (MDA)

L'Arquitectura Dirigida per Models (MDA) (Model Driven Architecture) és una proposta de l'Object Management Group (OMG) (OMG, 2005), i es pot considerar un dels exemples d'aquests enfocaments més conegut i acceptat a l'enginyeria del programari. La iniciativa promou l'ús de models com a mitjà per al disseny i implementació de sistemes. Les activitats més importants són la modelització i les transformacions. Uns dels principals objectius recollits en la guia MDA versió 1.0.1 proposat per l'OMG (OMG, 2001), és aconseguir la separació entre el coneixement del domini i el coneixement tecnològic, és a dir, la lògica de les aplicacions o negoci i la plataforma tecnològica, de manera que els sistemes informàtics puguin suportar els ràpids avanços tecnològics que es produeixen.

Per a aconseguir aquest objectiu MDA es basa en tres tipus de models: Computational Independent Model (CIM), Platform Independent Model (PIM) i Platform Specific Model (PSM).

- El **model CIM** mostra la vista del sistema independent de la computació, és a dir, representa el domini i els requisits del sistema des d'un punt de vista organitzacional, de negoci o funcional. Aquest model no canvia, siga quina siga la tecnologia que s'utilitzarà a la implementació posterior del sistema.
- El **model PIM** modela la funcionalitat del sistema, es centra als aspectes a informatitzar però sense introduir característiques particulars de les tecnologies que es van a utilitzar. Es centra a la informació i en la visió computacional del sistema.
- El **model PSM**, representa la implementació del sistema tenint en compte la plataforma tecnològica i les seues característiques particulars. S'obté mitjançant transformació del model PIM.

La proposta contempla la possibilitat de transformar els models de nivells més alts a nivell més baixos mitjançant eines automàtiques fins a la generació de codi. Així, un model independent de la plataforma (PIM) podria transformar-se en diversos models PSM, tenint en compte diferents plataformes d'implementació. El que aporta aquest enfocament és que s'aconsegueix una major reusabilitat, portabilitat i interoperabilitat dels components de programari del sistema.

L'avantatge principal d'aquesta proposta és que el mateix model del comportament de l'organització i de requisits del sistema empresarial (CIM) serveix per a diferents tecnologies i per tant, no és necessari fer canvis si no es produeixen a un nivell més alt nous requisits.

En la pràctica existeixen diferents resultats pel que fa a les transformacions automàtiques dels models PIM (models que inclouen detalls de la implementació informàtica encara que no específiques de la plataforma), als models PSM, és a dir, a la implementació (Pastor, 2001). S'han desenvolupat eines de generació de programari que es comercialitzen i són utilitzades per les empreses desenvolupadores de serveis informàtics amb prou d'èxit. Però quan es tracta de la transformació dels models CIM als PIM, es troben només resultats i propostes parcials.

Partint dels principis bàsics de l'enfocament MDA proposat per l'OMG, hi apareix l'enfocament de la Interoperabilitat Dirigida per Models (MDI) (Model Driven Interoperability).

2.3.2. Interoperabilitat dirigida per models (MDI)

La Interoperabilitat Dirigida per Models (MDI) (INTEROP, 2008), (Grangel, 2007a, 2008) es basa essencialment en l'Arquitectura Dirigida per Models descrita en l'apartat 2.3.1. MDA permet, entre altres objectius, separar l'especificació funcional d'un sistema dels detalls d'implementació que estan completament condicionats per la plataforma específica. Aplicar aquests principis a la implementació de la interoperabilitat entre les empreses permet que el problema a resoldre ja no siga a nivell de codi. És a dir, ja no es planteja la interoperabilitat entre les plataformes i el programari directament, si no des d'un punt de vista conceptual, a nivells d'abstracció més alts, (i per tant, més estables) i arribar al nivell del programari mitjançant transformacions.

Per tant, aquest enfocament es centra a establir la interoperabilitat a partir dels models independents de la plataforma de cadascuna de les empreses que desitgen interoperar, és a dir al nivell AN-CIM (Alt-nivell CIM) com es mostra en la figura 2.8. Per a anar creant a cada nivell models d'interoperabilitat s'utilitzen les ontologies i les anotacions semàntiques com a suport per a proveir de major comprensió i coneixement als models utilitzats i dur a terme les transformacions.

Les especificacions o models a cada nivell es poden connectar amb els models del mateix nivell, mitjançant els models d'interoperabilitat. Es crea una estructura de models entrelaçats a partir dels quals es desenvolupen transformacions seguint un enfocament dirigit per models per a resoldre la interoperabilitat a tots els nivells, i finalment a nivell de codi manera automàtic. Les transformacions es realitzen dels nivells més independents de la plataforma, cap al nivell

inferior o de codi, tant en els models de cadascuna de les empreses com en els models que suporten la interoperabilitat, tal com es mostra en la figura 2.8, on APE correspon a l'acrònim d'Aplicació de Programari de l'Empresa.

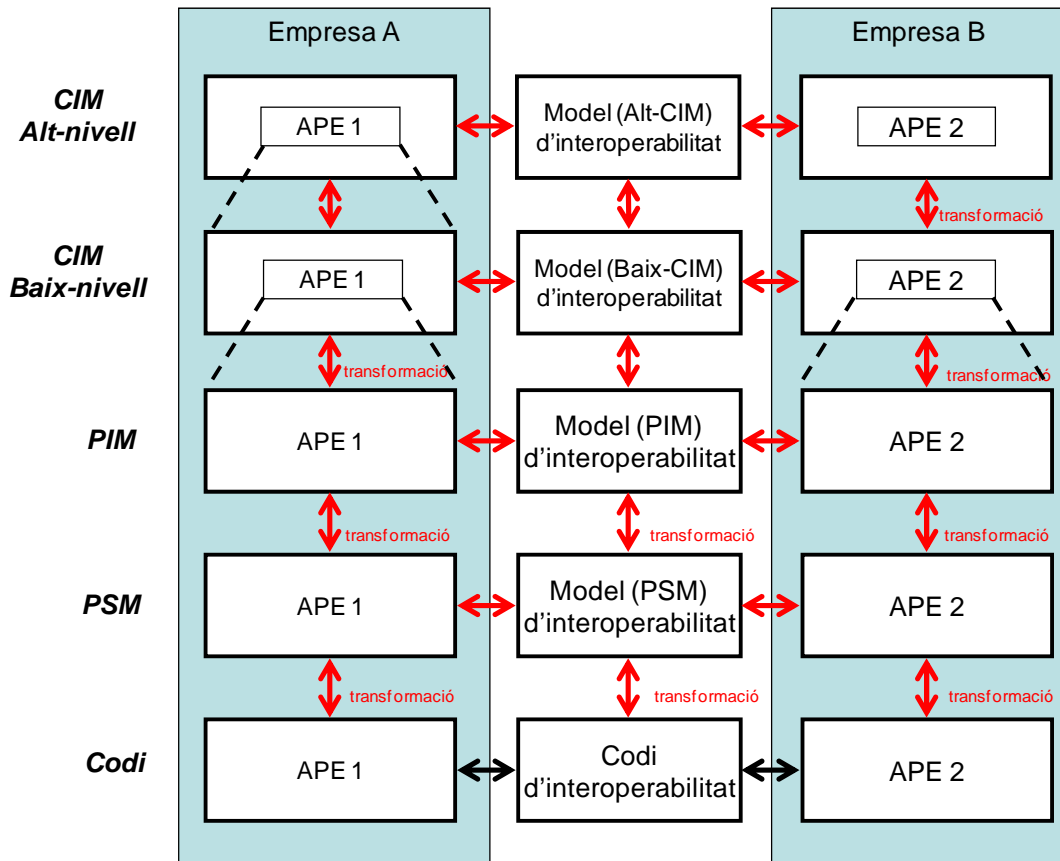


Figura 2.8. Transformacions de MDI (Bourey, 2007).

2.4. Gestió del coneixement

No hi ha una definició universalment acceptada de què és el coneixement. Alguns autors el defineixen com la informació que els individus posseeixen en les seues ments (Dretske, 1981). La definició es justifica perquè les dades (matèria primera formada per nombres i a partir dels

fets) existeixen en l'organització. Després de processar aquestes dades es converteixen en informació, i una vegada aquesta hi està activa en un individu, se'n converteix en coneixement.

2.4.1. Gestió del coneixement i sistemes empresarials

Pel que fa als sistemes d'informació empresarials la definició de coneixement va unida habitualment als conceptes de dada i informació. Les dades són la matèria primera que es genera a partir de les activitats diàries de l'empresa; les dades es converteixen en informació quan es processen per ser utilitzades per algú (Pressman, 2005), i tenen per tant un valor afegit, i la informació es converteix en coneixement quan s'hi afegeix nocions, abstracció i una millor comprensió. Formalment la distinció seria (Splieger, 2003).

- **Dada:** símbol inscrit mitjançant mitjans humans o instruments.
- **Informació:** és una opinió d'un individu o grup que, donades unes dades, resol preguntes, descobreix diferències o permet noves accions. La informació per tant existeix per a qui la posseeix.
- **Coneixement:** és la capacitat per l'acció efectiva en un domini d'accions humanes.

Per tant, es pot dir que el coneixement és la consciència que permet l'individu tenir l'habilitat o la capacitat requerida per una situació en particular per (1) tractar de resoldre qüestions complexes de manera eficient i creativa, (2) traure profit de les oportunitats prenent les decisions més apropiades.

2.4.2. Gestió del coneixement com a suport a la interoperabilitat

Gestionar el coneixement significa gestionar els processos de creació, desenvolupament, distribució i utilització del coneixement per millorar els resultats d'organització i incrementar la capacitat competitiva de les organitzacions (Alonso, 2004), (Chalmeta, 2008). Per tant, la gestió del coneixement és un aspecte clau com a suport de la interoperabilitat empresarial.

Una de les maneres més innovadores de millorar la competitivitat i la productivitat de les organitzacions és la implementació de la gestió del coneixement, entesa com la capacitat de

crear, recopilar, organitzar, accedir i usar el coneixement. Aquesta necessitat sorgeix per diversos motius, que entre altres són:

- Les decisions i accions de les companyies requereixen una gran quantitat d'informació i de coneixement perquè les empreses han d'operar en entorns cada dia més globals i complexos.
- Les tecnologies de les comunicacions i de la informació obrin un gran nombre de possibilitats per millorar la gestió del coneixement tant internament com entre empreses.

Un factor clau per assolir una correcta gestió del coneixement en les empreses és desenvolupar i implementar un Sistema de Gestió del Coneixement (SGC), és a dir, un sistema de tecnologies de la informació que done suport a la gestió del coneixement i permet crear, codificar, emmagatzemar i distribuir informació en l'organització de manera automatitzada (Grangel, 2007b, 2007c).

Tenir una manera d'accedir i gestionar el coneixement que és necessari compartir entre les empreses, pot marcar al diferència de l'èxit complet o la ineficiència a l'hora d'establir col·laboracions i per tant és un aspecte crític en els projectes d'establiment i millora de la interoperabilitat. La gestió del coneixement aplicada a la interoperabilitat té a veure amb la compatibilitat de les habilitats i les competències en temes de coneixement entre empreses que col·laboren.

2.5. Ontologies

La paraula ontologia prové del grec 'ontos' (ser) i 'logos' (paraula), i es refereix en filosofia a l'estudi de l'ésser com a tal (Sowa, 2007). Una ontologia en un domini explica els tipus de coses d'aquest domini, i per tant és una part important del coneixement en aquest domini. Informalment, una ontologia en un domini específic mostra la seua terminologia (vocabulari) i tots els conceptes essencials del domini, la seua classificació, taxonomia, relacions (incloent-hi jerarquies i restriccions) i axiomes del domini.

En intel·ligència artificial i en el context d'enginyeria informàtica una ontologia és una especificació d'una conceptualització. És a dir, una abstracció o vista simplificada del món i una

representació formal que pot ser informatitzada (Gruber, 1993a). Però, a més a més, el coneixement del domini que representa l'ontologia ha de ser consensuat, és a dir, que no siga subjectiu a un individu o grup sinó compartit i acceptat per una comunitat. Per tant, una ontologia defineix les paraules i els conceptes comuns utilitzats per a descriure i representar una àrea de coneixement. Una ontologia inclou les següents classes de conceptes: classes en el domini d'interès (coses generals), instàncies (coses particulars), les relacions entre aquestes coses, les propietats d'aquestes coses (i els valors d'aquestes propietats), les funcions i processos relacionats amb aquestes coses, així com possibles restriccions i regles.

Generalment, les ontologies es representen en llenguatges d'abstracció de nivell baix de modelització de dades; en la pràctica, els llenguatges de representació d'ontologies mostren un poder d'expressió proper a les lògiques de primer ordre (Gruber, 1993b).

La capacitat d'abstracció i l'acceptació consensuada del coneixement inclòs en una ontologia són dos dels aspectes que permeten donar suport a la interoperabilitat.

2.5.1. Ontologies empresarials

Les ontologies tenen un paper fonamental com a suport en les recerques en els web i en el comerç electrònic i, com a facilitador de la gestió del coneixement en la interoperabilitat empresarial. Les ontologies es poden usar com vocabularis centralitzats que s'integren en catàlegs, bases de dades, publicacions web, aplicacions de gestió del coneixement, proveint especificacions concretes de noms i significat dels termes.

En la figura 2.9. es presenta el que es denomina 'Ontology Spectrum' (Obrst, 2003), (Mcguinness, 2003) que mostra els formalismes existents per a l'especificació del coneixement d'acord amb la seua expressivitat semàntica. Més a l'esquerra estan els formalismes que són més febles semànticament, mentre que més a la dreta estan les ontologies més formals. Un *lexicó* és una recopilació de termes del domini; un *tesaurus* és un lexicó, al qual s'afeixen relacions bàsiques entre conceptes i normalment es classifiquen amb una jerarquia.

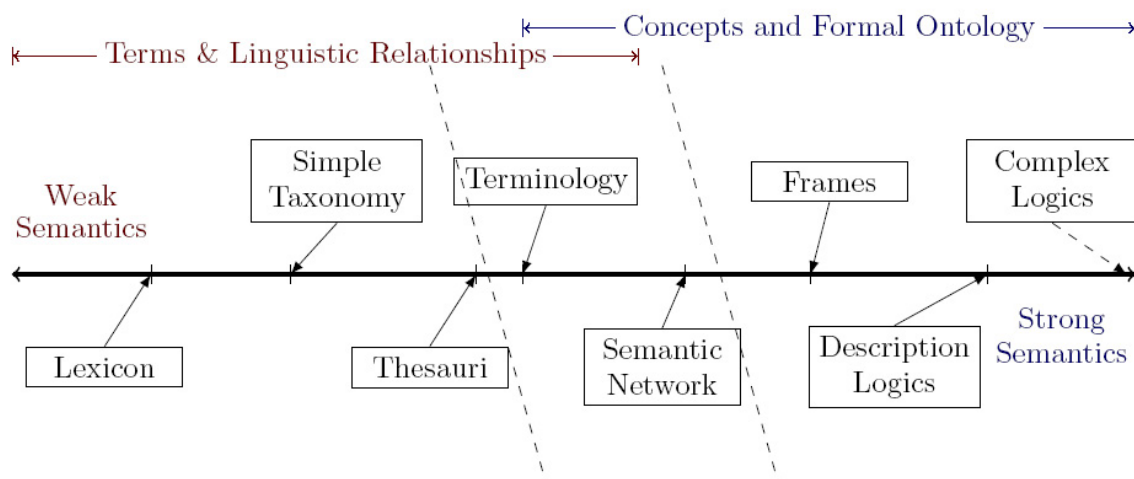


Figura 2.9. Spectrum de les ontologies (Obrst, 2003).

A continuació es descriuen diverses ontologies empresarials, l'objectiu de les quals és caracteritzar els conceptes inherents a l'empresa i, per tant, el seu coneixement.

- **Toronto Virtual Enterprise (TOVE).** L'ontologia Toronto Virtual Enterprise (TOVE) és un dels resultats del projecte TOVE (TOVE, 2007) els objectius principals del qual són: crear una representació compartida, és a dir, una ontologia de l'empresa que pugui ser entesa i usada conjuntament per cada agent en l'empresa distribuïda; definir el significat de cada representació, és a dir la semàntica; implementar la semàntica en un conjunt d'axiomes que li permeten deduir automàticament les respostes a la major part de les qüestions de sentit comú sobre l'empresa i definir un simbolisme per representar un concepte en un context gràfic. El domini al qual pot ser aplicada és la modelització empresarial, tant per a organitzacions de l'àmbit comercial com públic. El propòsit de l'ontologia és el disseny de models per a empreses amb la finalitat de comprendre el seu comportament i donar suport als desenvolupaments de programari.
- **Process Specification Language (PSL)** (Llenguatge d'especificació de processos) està basat en un principi en TOVE i va ser iniciat pel National Institute of Standards and Technology (NIST, 2007). PSL inclou un lèxic (un conjunt de símbols lògics i no lògics) i una gramàtica (especificacions de com aquests símbols poden ser combinats), els quals serveixen per representar els conceptes de l'ontologia. L'ontologia PSL

2. Estat de l'art en interoperabilitat empresarial

proporciona les definicions rigoroses i no ambigües dels conceptes necessaris per tal d'especificar els processos de fabricació com a suport a l'intercanvi d'informació sobre aquests processos. Els models empresarials i les aplicacions de programari desenvolupades a partir d'aquests models, fan ús d'una gran quantitat de conceptes i termes generats amb vocabularis específics. El seu propòsit és solucionar aquests problemes d'ambigüitat semàntica que impedeixen una completa interoperabilitat entre aplicacions de programari.

- **Edinburgh Enterprise Ontology (EO).** Aquesta ontologia (Uschold, 1998) és el resultat de les investigacions de l'Artificial Intelligence Applications Institute at the University of Edinburgh com a part de Enterprise Project, l'objectiu del qual és proporcionar un marc de modelització empresarial per integrar mètodes i eines. EO és una col·lecció esmerada de termes i definicions relacionades amb les empreses i els negocis. Aquests conceptes són àmpliament utilitzats com a base estable per a l'especificació de requisits de programari. Com a resultat de d'aquest 'Enterprise Project' s'inclou també un 'Enterprise Tool Set' que és una eina de suport als usuaris per capturar aspectes d'un negoci i identificar requisits de negoci, problemes i solucions. Aquesta ontologia no és una proposta final ni exhaustiva, necessita ser ampliada per a incloure més detalls relacionats amb les aplicacions de negoci o domini específic. És a dir, conté els termes més genèrics perquè les empreses i les aplicacions que en fan ús la puguin estendre per tal d'incloure el seus propis termes.

2.5.2. Ontologies i interoperabilitat

Les ontologies com a suport a la interoperabilitat s'han estudiat de manera profusa i existeixen nombroses propostes teòriques i algunes pràctiques. De fet, es poden trobar diferents iniciatives en diferents sectors industrials que proposen ontologies que inclouen els conceptes genèrics dintre del sector. A més a més, existeixen projectes i grups de treball com el del W3C Ontology Task Group que ha desenvolupat un nou llenguatge per crear ontologies denominat Ontology Web Language (OWL, 2004), orientat als negocis i que aplica aspectes d'estandardització en el domini dels negocis.

Les ontologies es consideren l'eina fonamental per a donar suport als webs semàntics. En aquest aspecte existeixen iniciatives (W3C, 2009) que tenen com a objectiu redefinir i

estructurar els recursos del web de manera que puguin ser accessibles, no només per les persones, sinó també per les aplicacions de programari. Aquest avanç permet que el programari pugui entendre el significat dels recursos utilitzats per manipular, integrar i fer accessible la informació a o des d'altres aplicacions. En aquest context s'han creat llenguatges de representació del coneixement com RDF (RDF, 2007), OWL (OWL, 2004), orientats a la semàntica que permeten expressar de manera eficient axiomes i enunciats, conceptes i relacions entre conceptes, identificats en un determinat domini d'interès (Gong, 2006). Aquests llenguatges, considerats com a estàndards web proveeixen un marc per a compartir i reutilitzar dades en el web. RDF dóna suport a estructures de consulta i recerca (query) flexibles i potents, i s'han creat diverses eines per a treballar amb aquest llenguatge. OWL proporciona un llenguatge per a definir ontologies estructurades basades en el web. Els resultats són un enriquiment de la integració i interoperabilitat de dades dintre de les comunitats d'usuaris i s'han creat sistemes d'informació basats en els webs semàntics que s'han aplicat amb èxit al sector industrial (DIP, 2006).

2.6. Tecnologies de la informació i les comunicacions

Els primers treballs que fan referència al concepte d'interoperabilitat estaven enfocats a la interoperabilitat entre sistemes informàtics, intercanvi de dades i la comunicació entre plataformes tecnològiques. Els seus inicis tenien com objectiu la transferència de dades i informació entre sistemes de manera segura, per tal d'agilitzar les transaccions comercials, per exemple entre empreses i els seus clients o a l'àmbit de les entitats financeres.

Des del punt de vista de les tecnologies informàtiques, interoperar *és l'habilitat de dos actius tecnològics heterogenis, ja siguin dispositius de maquinari o de comunicacions, o components de programari, de funcionar de manera conjunta i donar accés als seus recursos, de manera recíproca* (EIF, 2004), (Guijarro, 2007).

També a l'àmbit de les tecnologies l'IEEE (IEEE, 1990) defineix la interoperabilitat *com l'habilitat de dos sistemes o components d'intercanviar informació i fer ús de la informació que s'ha intercanviat*.

El mercat globalitzat fa que l'increment de les col·laboracions entre empreses siga una necessitat evident. En aquest context moltes empreses troben dificultats en l'establiment de

col·laboracions entre els seus sistemes d'informació fets a mida, amb diferents programaris, o tecnologies. Aquestes aplicacions informàtiques no estan dissenyades i desenvolupades per interoperar amb altres aplicacions. A més a més, dels obstacles purament tecnològics, s'afegeixen altres dificultats que tenen a veure amb la semàntica o l'idioma utilitzat. Per exemple la definició de conceptes comuns com ara 'comanda' o 'ordre de compra' poden variar molt d'una aplicació a una altra (Chen, 2008a).

Les tecnologies, amb l'avanç d'Internet a tots els sectors empresarials com a suport dels negocis, imposen a les empreses la necessitat d'emprar els últims avanços per poder mantenir la seua competitivitat. És en aquest àmbit, on l'aplicació de principis d'interoperabilitat ha sigut més clara i ha tingut una repercussió en la manera de fer negocis de les empreses més destacable. Com per exemple, els sistemes de gestió de reserves que s'utilitzen al sector turístic on els proveïdors de serveis al client final interoperen amb sistemes independents, de diferents sectors i països per poder oferir productes complets. Pel que fa a la investigació i resultats en aquest àmbit, s'han desenvolupat moltes plataformes i eines que permeten comunicar sistemes heterogenis amb inversions adients.

Alguns dels més importants productors de tecnologies de les comunicacions duen a terme projectes per tal d'alinejar les seues tecnologies de manera que puguen interoperar entre si. Com a exemple, IBM i Microsoft que van dur a terme una presentació pública per a demostrar com els seus dispars sistemes interoperen, utilitzant nous estàndards WEB que ells i altres productors líders en el sector de les TIC han desenvolupat en els últims anys (EIF, 2004).

2.6.1. Intercanvi electrònic de dades

Com a precursor de la interoperabilitat entres sistemes informàtics es pot considerar l'intercanvi electrònic de dades. Als anys 80, l'interès de les empreses per millorar la comunicació i transferència de documents amb els seus clients i proveïdors va donar lloc al servei EDI (Electronic Data Interchange), que proporcionava un format normalitzat per a l'intercanvi de documents entre sistemes informàtics (Mariño, 1994).

EDI es pot definir com la transferència electrònica de dades entre sistemes informatitzats, d'informació comercial prèviament organitzada d'empreses que col·laboren en els negocis.

Al voltant d'EDI van sorgir propostes per estandarditzar aquests formats d'intercanvi, i com a conseqüència es van produir diverses normes internacional, entre les quals les més acceptades són la promoguda per l'ANSI¹ (American National Standard Institute) ANSI X12 EDI i UN/EDIFACT² (United Nations EDI for Administration, Commerce and Transport), denominada ISO 9725. Aquestes normes consisteixen en un conjunt de formats, regles per a l'elaboració de documents (sintaxi) i un conjunt de paraules amb seu significat (vocabulari), i proporciona una estructura per a l'organització dels documents. El fet que les normes s'acceptaren a l'àmbit internacional posteriorment a l'ús d'EDI, va afavorir que també hi aparegueren altres normes sectorials que han aconseguit estandarditzar l'intercanvi de dades al menys dintre del mateix sector. Aquestes normes són un referent i, en alguns sectors d'ús obligat, per a establir relacions comercials, com ara amb entitats financeres o en altres sectors industrials amb socis de pes que imposen el seu ús. Al voltant d'aquestes normes s'han creat associacions que treballen en el manteniment, millora i promoció del seu ús, com per exemple:

- **SWIFT**³ proveïdor de serveis per a la transferència d'informació segura entre, i amb entitats financeres.
- **EDIFICE**⁴, per a empreses del sector dels sistemes informàtics, de l'electrònica i de les telecomunicacions en Europa, adoptant UN/EDIFACT com l'estàndard global per a aplicacions EDI i, RosettaNet⁵ per a implementacions B2B basades en XML.
- **ODETTE**⁶, és una organització internacional, formada per la indústria de l'automoció i per a la indústria de l'automoció. Estableix conjunts d'estàndards per al comerç electrònic, les comunicacions i l'intercanvi de dades del sector del motor europeu i dels seus cois de tot el món.

¹ <http://www.ansi.org/>

² <http://www.unece.org/trade/untdid/welcome.htm>,
<http://www.unece.org/cefact/>

³ <http://www.swift.com/>

⁴ <http://www.edifice.org/>

⁵ <http://www.rosettanet.org/>

⁶ <http://www.odette.org/html/home.htm>

Aquestes normes s'han de tenir en compte quan es vol interoperar sistemes que han de seguir aquets estàndards.

2.6.2. Estàndards de suport als serveis Web

La indústria de les TIC, juntament amb les associacions industrials i les organitzacions que es dediquen a promoure estàndards, ha segut molt activa per tal de aconseguir la connexió entre sistemes a nivell de plataformes tecnològiques. L'àrea on l'evolució i profusió de propostes ha sigut més ben acollida és la de Serveis Web.

Els serveis web han emergit com la nova generació de tecnologies basades en el web, per a l'intercanvi d'informació en Internet i, com una part del paradigma informàtic 'service-oriented', promet revolucionar el procés de desenvolupament i posada en marxa de sistemes informàtics (Papazoglou, 2008). Es pot dir que els **serveis web** són el conjunt d'aplicacions i tecnologies que permeten disposar i fer disponible la funcionalitat de, i entre sistemes d'informació mitjançant tecnologies estàndards web.

Utilitzant el web com a plataforma els usuaris poden sol·licitar un servei a algun proveïdor que l'ofereix en el web. Però perquè la interacció funcione han d'existir mecanismes de comunicació estàndards entre diferents aplicacions. Per tal de proveir d'estàndards de serveis web i mecanismes que faciliten el seu ús, s'han creat diferents organitzacions internacionals. Aquestes organitzacions es poden classificar en tres tipus: aquelles que es dediquen a la creació de serveis i estàndards, entre les quals la més acceptada i reconeguda és W3C World Wide Web Consortium; un altre grup, la missió de les quals és publicar i proveir el serveis, com per exemple OASIS (Organisation for the Advancement of Structured Information Standards); i finalment, hi ha organitzacions formades per empreses que aporten mètodes, millors pràctiques i guies per usar els serveis publicats, com per exemple WS-I Interoperability Organisation. A continuació es proporciona una breu descripció de cadascuna de les organitzacions esmentades.

- **W3C: World Wide Web Consortium.** (W3C, 1994). Va ser fundada per Tim Berners-Lee el creador del 'World Wide Web' al Massachusetts Institute of Technology, Laboratory for Computer Science (MIT/LCS), amb la col·laboració del CERN (European Organization for Nuclear Research), el suport de DARPA (Defense Advanced Research

Projects Agency USA) i de la Comissió Europea. Posteriorment, es van unir altres centres d'investigació, universitats i organismes de tot el món, i actualment, està gestionada pel MIT, l'ERCIM (The European Research Consortium for Informatics and Mathematics), i la Keio University (Japó). La missió d'aquesta organització és dirigir el Web al seu ple potencial, la qual cosa es du a terme desenvolupant tecnologies (especificacions, guies, programari i eines) que creen un fòrum per a la informació, comerç, inspiració, pensament independent i comprensió col·lectiva. Pel que fa a la interoperabilitat, els objectius es descriuen de la següent manera:

Fa 20 anys es comprava programari que només funcionava amb altres programaris del mateix venedor. Hui en dia, hi ha més llibertat per a elegir, i s'espera que els components siguin intercanviables. També s'espera poder visualitzar els continguts web amb el programari preferit de cadascú (interfície gràfica, sintetitzadors de la parla, telèfons, dispositius d'eixida brailey...). W3C és una organització de venedors neutrals que fomenta la interoperabilitat dissenyant i promovent llenguatges de computadors i protocols oberts (no propietaris) que eviten la fragmentació del mercat del passat. Aquest objectiu s'abasta mitjançant consens industrial i encoratjant un fòrum obert de discussió.

- **OASIS: Organisation for the Advancement of Structured Information Standards** (OASIS, 2009) és un consorci (amb més de 5.000 participants) sense ànim lucratiu que dirigeix el desenvolupament, convergència i l'adopció d'estàndards oberts per a la societat de la informació global. El consorci produeix un gran nombre d'estàndards de serveis web, juntament amb estàndards per a la seguretat, el comerç electrònic, i esforços d'estandardització en el sector públic i per a l'aplicació en sectors industrials específics. A l'àmbit de la interoperabilitat hi ha diferents resultats, fruit del treball de diferents comitès tècnics, entre els qual es troba OASIS Web Services Quality Model TC. La missió d'aquest comitè és definir criteris comuns per avaluar els nivells de qualitat en interoperabilitat, seguretat i maneig de serveis.
- **WS-I Web Services Interoperability Organisation** (WS-I, 2009). Aquesta és una organització industrial oberta, llançada per establir les millors pràctiques per a la interoperabilitat de serveis Web, per a grups seleccionats d'estàndards de serveis Web, a través de plataformes, sistemes operatius i llenguatges de programació. Els resultats

2. Estat de l'art en interoperabilitat empresarial

de l'organització es troben en diferents documents que proveeixen recursos per als desenvolupadors de serveis web perquè creen serveis interoperables i també per a poder verificar que els serveis desenvolupats compleixen les guies del WS-I.

L'ús d'estàndards com a capacitadors de la interoperabilitat és una de les opcions que sembla més clara, i on s'han produït més aportacions i avanços. L'objectiu fonamentals dels serveis web és permetre que les aplicacions informàtiques puguin treballar de manera conjunta sobre protocols estàndards d'Internet sense la intervenció directa de les persones. Els serveis web poden usar-se de manera efectiva quan un servei web i el seu client, fan ús d'estàndards que poden comunicar-se entre si.

Aquest serveis no es desenvolupen de manera monolítica, sinó més prompte es presenten com una col·lecció diverses de tecnologies afins. El desenvolupament d'estàndards oberts i àmpliament acceptats és una força clau per al desenvolupament de la infraestructura dels serveis web. Però al mateix temps, aquests esforços han redundat en la proliferació de nombrosos i confosos estàndards i acrònims (Papazoglou, 2007), tal com es pot veure en la figura 2.10, on es representa l'estructura dels serveis web denominada Web Services Technology Stack (Pila de les tecnologies de serveis Web).

Gestió dels serveis	Coreografia – CDL4WS		Processos de negoci	
	Orquestració – BPEL4ws			
	Fiabilitat-WS	Seguretat-WS	Transaccions	Qualitat del servei
			Coordinació	
			Context	
	UDDI		Descobrimet	
	WSDL		Descripció	
	SOAP		Missatge	
	XML			
	HTTP, JMS, SMTP		Transport	

Figura 2.10. Pila de les tecnologies dels serveis Web (Papazoglou, 2007).

2.7. Models de maduresa

El desenvolupament i millora de mètodes de qualsevol àmbit de l'enginyeria aplicada a les empreses o els sistemes requereixen definir mètriques per avaluar la situació en la qual es troba el sistema o empresa i poder proposar millores. Aquestes mesures s'organitzen en el que es denomina model de maduresa. Un **model de capacitat i maduresa** és un model d'avaluació dels processos d'una organització, per a la qual cosa defineix els estats o nivells en els quals pot estar una empresa o sistema; un conjunt de bones pràctiques i fites o paràmetres quantificables que permeten establir en quin nivell es troba una empresa o uns processos; i propostes per poder evolucionar d'un nivell de maduresa a un altre superior.

2.7.1. Capability Maturity Model

El terme model de maduresa va ser popularitzat pel SEI (Software Engineering Institute) quan va proposar Capability Maturity ModelTM (CMMTM) en 1986 (Dymon, 1995); aquest model de maduresa inicialment enfocat a la millora dels processos de desenvolupament de programari, ha anat evolucionant en diferents versions, i està àmpliament acceptat com a guia per l'avaluació dels processos d'una organització. Segons el model CMM els nivells de maduresa dels processos d'una organització poden ser: Inicial, Repetible, Definit, Gestionat i Optimitzat.

Com a evolució del CMM s'ha desenvolupat el CMMI, Capability Maturity Model Integration (CMMI), del qual s'han publicat diferents versions (SEI, 2009), (Kasunic, 2004), (Ahern, 2004). L'objectiu de CMMI és millorar la usabilitat de models de maduresa integrant-ne diferents en un únic marc. Les millors pràctiques CMMI es publiquen en el que s'anomenen models. En l'actualitat hi ha tres àrees d'interès cobertes pels models CMMI: desenvolupament, adquisició i serveis. Per cadascuna d'aquestes àrees hi ha una versió de CMMI. El CMMI s'ha convertit ràpidament en un instrument per a la millora de processos, adoptat per molts desenvolupadors de programari i de sistemes arreu del món. Pel que fa a la capacitat dels processos CMMI defineix 6 nivells que són:

- **Incomplet:** el procés no es realitza, o no s'aconsegueixen els seus objectius.
- **Executat:** el procés s'executa i s'assoleixen els seus objectius.

2. Estat de l'art en interoperabilitat empresarial

- **Gestionat:** a més a més d'executar-se, el procés es planifica, es revisa i s'avalua per comprovar que compleix els requisits.
- **Definit:** a més a més de ser un procés gestionat, s'ajusta a la política de processos que existeix en l'organització, alineada amb les directrius de l'empresa.
- **Quantitativament gestionat:** a més a més de ser un procés definit, es controla utilitzant tècniques quantitatives.
- **Optimitzat:** a més a més de ser un procés quantitativament gestionat, de forma sistemàtica es revisa i modifica o canvia per adaptar-lo als objectius del negoci (millora continuada).

2.7.2. Models de maduresa en interoperabilitat

Un dels denominadors comuns dels marcs o propostes de suport a la interoperabilitat és la definició de models de maduresa en interoperabilitat. Aquests models tenen com a punt de partida el CMM. Així, en general, tots proposen uns nivells de maduresa dels sistemes i de les empreses, i en alguns casos es proposen certs atributs a mesurar per a establir el nivell de maduresa en els aspectes o dominis de l'empresa. S'han desenvolupat diferents propostes de models de maduresa en interoperabilitat, algunes adreçades a les petites i mitjanes empreses (Ford, 2007), (Benguria, 2008), (Gottschalk, 2009), (Pardo, 2008) i altres dins de marcs o arquitectures d'interoperabilitat. A continuació es descriuen les propostes incloses als marcs d'interoperabilitat del DoD i ATHENA, i el model de maduresa en potencialitat de la interoperabilitat. Aquest últim, presenta un enfocament diferent identificant diferents tipus de la interoperabilitat que es vol mesurar, i és un aspecte fonamental en les propostes que es desenvolupen en aquesta tesi.

2.7.2.1. Model de maduresa del DoD

El Model de Maduresa del DoD anomenat **LISI** (Levels of Information Systems Interoperability) proporciona un enfocament sistemàtic i estructurat per tal d'assessorar i mesurar la interoperabilitat a través del cicle de vida dels sistemes (C4ISR, 1997). El propòsit de LISI és proporcionar al DoD un model de maduresa i un procés per determinar les necessitats d'interoperabilitat, proporcionant assessorament perquè els sistemes d'informació puguin cobrir

aquestes necessitats, i seleccionant solucions i mètodes de transició per tal de millorar l'estat de capacitat en interoperabilitat. Per aconseguir aquest propòsit LISI proporciona un conjunt de capacitats associades com a base, per dur a terme les comparacions entre sistemes heterogenis.

El model de maduresa LISI defineix cinc nivells de maduresa per anomenar la capacitat d'interoperar entre sistemes (no entre els usuaris) i defineix quatre atributs avaluable per tal d'identificar el nivell de la col·laboració entre dos sistemes. Els quatre atributs que proposen en LISI es coneixen per l'acrònim de PAID: Procediments, Aplicacions, Infraestructures i Dades, i cada nivell té relacionades unes capacitats segons els atributs tal com es mostra en la taula 2.5.

Atribut	Descripció
P Procediments	Les polítiques i procediments marquen el desenvolupament d'un sistema a través d'estàndards establerts i de procediments i processos que influeixen en la integració del sistema i en els requisits funcionals i operacionals.
A Aplicacions	Les funcions que el sistema ha de dur a terme. Aquestes funcions resideixen moltes vegades en els programes basats en els usuaris que desenvolupen o donen suport a un conjunt específic de procediments o processos.
I Infraestructura	La infraestructura requerida per a donar suport a les operacions del sistema. Conté quatre subcomponents que els quals també es defineixen en termes de nivells de sofisticació incremental.
D Dades	Les estructures de dades i de la informació utilitzades com a suport tant de les aplicacions funcionals com de les infraestructures del sistema.

Taula 2.5. Descripció dels atributs PAID.

Els nivells de maduresa identifiquen els estats a través dels quals un sistema pot anar progressivament evolucionant per tal de millorar la seua capacitat d'interoperar. Aquests nivells són: **0-Aïllat**, **1-Connectat**, **2-Funcional**, **3-Domini** i **4-Empresa**. Per cada atribut i cada nivell LISI designa els elements que cal avaluar. A més a més LISI proporciona un procés de valoració per a determinar el nivell de maduresa obtingut per a un sistema en particular o per a una parella atribut-nivell com es mostra en la taula 2.6.

LISI que està enfocat al desenvolupament de la interoperabilitat en el sector militar dels Estats Units, proporciona conceptes i models genèrics i és usat com a punt de partida per tal d'elaborar altres marcs i models de maduresa en interoperabilitat, com per exemple l'Organizational Maturity Model (OMM) (Clark, 1999) o l'Enterprise Interoperability Maturity Model (EIMM) (ATHENA, 2007b).

2. Estat de l'art en interoperabilitat empresarial

Descripció	Atributs d'Interoperabilitat					
	Entorn Computacional	N	Procediments	Aplicacions	Infraestructura	Dades
Empresa	Universal	4	Nivell empresa	Interactiu	Topologies múltiples dimensions	Model global d'empresa
Domini	Integrat	3	Nivell del domini	Programari de grup	Xarxa World Wide	Model a nivell de domini
Funcional	Distribuït	2	Nivell de programa	Automatització desktop	Xarxes locals	Model de programa
Connectat	Peer-to-Peer (igual a igual)	1	Nivell local/lloc	Drivers del sistema estàndards	Connexions simples	Local
Aïllat	Manual	0	Control d'accés		Independents	Privades

Taula 2.6. Model LISI.

2.7.2.2. Model de maduresa d'ATHENA

El model de maduresa proposat en ATHENA denominat Enterprise Interoperability Maturity Model (EIMM) té dos objectius: primer identificar les capacitats d'una empresa per interoperar i segon derivar un grau adequat de modelització basat en els objectius individuals i les actuals capacitats. ATHENA elabora un model de maduresa i un procés d'aplicació per a dur a terme l'assessorament per a la maduresa en interoperabilitat. En aquest model es defineix una metodologia per assistir en la identificació dels processos col·laboratius amb el suport d'un o més enfocaments de modelització adequats.

L'EIMM defineix cinc nivells de maduresa i un conjunt d'àrees concernents a la interoperabilitat. Aquest model proporciona per una part, els mitjans per tal de determinar les habilitats que posseeix una empresa (situació actual) per a col·laborar amb entitats externes i per una altra, especifica el mode per millorar aquesta habilitat (ATHENA, 2007b) (Guèdria, 2008).

Els nivells definits són:

1. **Desenvolupat:** la modelització empresarial i les col·laboracions existeixen, però de manera caòtica i ad-hoc. L'organització col·labora amb entitats externes (proveïdors, administració pública, entitats financeres, clients) però les relacions no estan planificades amb conseqüència. Les tasques col·laboratives i els processos habitualment no compleixen el pressupost ni el calendari. El seu funcionament adequat

en el passat (normalment basat en la capacitat de les persones) no es pot repetir i el potencial i la tecnologia no s'usen de manera adequada.

2. **Modelitzat:** la modelització empresarial i les col·laboracions es fan de manera similar cada vegada. Es troben tècniques aplicables. Es defineixen i apliquen metamodels. Les responsabilitats estan definides, les persones entenen el model de l'empresa i saben com executar-lo i les tecnologies de xarxes s'utilitzen per a les col·laboracions.
3. **Integrat:** el procés de modelització de l'empresa està formalment documentat, comunicat i s'usa de manera consistent. L'organització utilitza una metodologia definida i una infraestructura de suport a la modelització empresarial. Existeix un mètode basat en el coneixement per a la millora dels models. La col·laboració entre negocis es facilita mitjançant l'ús de tecnologies d'interoperabilitat, estàndards i l'externalització de part dels models empresarials.
4. **Interoperable:** els models empresarials donen suport a la interoperabilitat dinàmica i a l'adaptació als canvis i evolució de les entitats externes. Els llocs de treball del personal de l'empresa s'adapten sense esforç al model empresarial. Els resultats (per a les organitzacions i les persones implicades) i les mètriques dels processos es defineixen com una base per a la millora continuada.
5. **Optimitzat:** els models empresarials permeten l'organització reaccionar i adaptar-se als canvis de l'entorn de negoci de manera àgil, flexible i receptiva. Els sistemes de l'empresa es sincronitzen amb els models empresarials i es busquen i apliquen contínuament tecnologies innovatives per a millorar la interoperabilitat. L'ús de models empresarials contribueixen a assolir els objectius globals de l'organització, de les unitats o departaments i de les persones implicades.

En aquest model de maduresa la modelització empresarial, el seu ús, coneixement i millora, es considera l'eina fonamental per assolir un determinat nivell de maduresa. Es defineixen sis àrees d'interès: estratègia de negoci i processos, organització i competències, productes i serveis, sistemes i tecnologies, entorn legal, seguretat i responsabilitat, i modelització empresarial. La darrera, la modelització empresarial, es considera com l'àrea que envolta totes les altres donant suport al funcionament de cadascuna d'elles

2.7.2.3. Model de maduresa en potencialitat de la interoperabilitat

Com a evolució dels treballs en models de maduresa en interoperabilitat han anat sorgint propostes que refinen alguns dels models previs. En particular és interessant destacar les propostes de la definició dels tipus de mesures d'interoperabilitat de Chen et al. (Chen 2007, 2008b, Guédria, 2009). En aquests treballs es considera que a l'hora de mesurar la interoperabilitat empresarial existeixen tres tipus, que són:

1. La mesura de la **potencialitat de la interoperabilitat** (potentiality interoperability), que fa referència a la capacitat de l'empresa d'interactuar amb una altra no especificada. És a dir, avalua el grau de preparació existent (i per tant, les dificultats amb les quals es pot trobar) quan s'estableix una hipotètica nova relació d'interoperabilitat). Per aquesta mesura es defineixen els nivells: aïllat, inicial, executable, connectable i interoperable.
2. La mesura de la **compatibilitat de la interoperabilitat**, (compatibility interoperability), avalua una relació d'interoperabilitat establerta entre dos col·laboradors en particular. És a dir, es mesura quan es desenvolupa o està en marxa el projecte d'interoperabilitat, per a analitzar el nivell d'adequació entre dos socis per a interoperar, o millorar-la si ja està en funcionament.
3. La mesura del **rendiment de la interoperabilitat** (performance interoperability), que avalua aspectes relacionats amb els costos temporals i econòmics de l'execució, i la qualitat de la interoperabilitat de dues empreses o sistemes.

Alguns dels treballs desenvolupats i aplicats a les empreses en aquests àmbit, defineixen tècniques i mètodes per a mesurar la maduresa en interoperabilitat en la mesura de compatibilitat i rendiment. Pel que fa la potencialitat de la interoperabilitat es fan certes recomanacions però no s'aprofundeix suficient en com avaluar detalladament aquesta mesura.

2.8. Conclusions de l'estat de l'art

A l'àmbit de la investigació en interoperabilitat són nombroses les iniciatives que han definit resultats, en gran part teòrics, i és quantiosa la inversió que es fa des de diferents organismes públics de l'àmbit internacional per a definir estàndards, metodologies i marcs de referència adequats. També es fan esforços per a consolidar la investigació, afavorint la col·laboració

entre grups de recerca per homogeneïtzar resultats i, el que és més important, avançar en la investigació de la interoperabilitat que és considerada un aspecte crític per mantenir la productivitat i competitivitat de les empreses.

Analitzant les propostes dels marcs teòrics descrits, es poden trobar bastants coincidències entre ells. En particular a l'àmbit europeu, per una banda, els marcs descrits en aquest treball han sorgit d'un mateix principi, i per altra, alguns dels grups més prolífics i amb aportacions més rellevants en aquest àmbit de la interoperabilitat hi han participat directament en molts dels projectes europeus per a la millora de la interoperabilitat i en particular ens els tres projectes descrits en aquest capítol (IDEAS, INTEROP, ATHENA).

Com s'ha mencionat es poden trobar en la bibliografia moltes definicions que aporten alguna connotació específica considerant el seu àmbit i tenint en compte l'entorn on es vol aplicar una solució d'interoperabilitat. Tenint en compte les definicions a les quals es fa referència en aquest capítol que es mostren en la taula 2.7, totes coincideixen que la interoperabilitat és una *capacitat* o una *habilitat*.

Interoperabilitat	
Tecnologies informàtiques	Habilitat de dos actius tecnològics heterogenis, ja siguin dispositius de maquinari o de comunicacions, o components de programari, de funcionar de manera conjunta i donar accés als seus recursos de manera recíproca (EIF, 2004), (Guijarro, 2007)
IEEE	Habilitat de dos sistemes o components d'intercanviar informació i fer ús de la informació que s'ha intercanviat
DoD	Habilitat dels sistemes, unitats o forces de proveir-hi serveis i acceptar serveis d'altres sistemes, unitats o forces i utilitzar els serveis intercanviats per capacitar-los a operar junts de maner efectiva
IDEAS	Habilitat de les aplicacions de programari empresarial per interactuar les unes amb les altres. Es considera que s'ha assolit la interoperabilitat entre empreses si en té lloc a tres nivells: dades, aplicacions i processos de negoci
ATHENA	Capacitat d'un sistema o producte per treballar amb altres sistemes o productes sense esforç especial per part del client. A nivell d'aplicacions i programari empresarial es tradueix com la capacitat d'interactuar, almenys en tres àrees: dades, aplicacions i negoci empresarial
Interop	Habilitat d'un sistema d'intercanviar informació i serveis, en un entorn heterogeni des del punt de vista organitzacional i tecnològic
Australian Governament	Habilitat de treballar conjuntament per donar serveis de manera eficient, uniforme i sense lligam entre múltiples organitzacions i sistemes de tecnologies de la informació

Taula 2.7. Definicions d'interoperabilitat.

La capacitat que fa referència a l'aptitud, disposició o suficiència per a fer alguna cosa, i l'habilitat significa destresa a fer certes coses adquirida amb l'estudi, l'experiència, l'abnegació (GEC, 2000). Les definicions coincideixen a caracteritzar la interoperabilitat amb aquesta

capacitat o habilitat per a poder establir col·laboracions entre sistemes. La diferència es pot trobar amb el sistema al qual les definicions fan referència, quan es tracta el terme d'interoperabilitat des d'un punt de vista genèric, de les tecnologies o dels sistemes d'informació.

Els diferents àmbits o camps de la investigació estudiats en aquest capítol evolucionen aportant solucions a la interoperabilitat de manera complementària usant, per tal d'avançar, resultats uns dels altres. Per exemple, els resultats en el camp de les tecnologies de la informació utilitzen com a suport ontologies i arquitectures dirigides per models (MDE), entre altres. Les ontologies, els sistemes de gestió del coneixement o els llenguatges de modelització d'intercanvi, tenen el seu suport en els avanços a l'àrea de la definició d'estàndards i de plataformes tecnològiques d'intercanvi.

D'una altra banda, els marcs i arquitectures inclouen els resultats de tots els altres camps, tenint en compte que el seu objectiu és proveir de guies metodològiques, eines i millors pràctiques per a aconseguir la interoperabilitat empresarial. Aquestes guies metodològiques han de considerar tots els dominis, han de tenir en compte les barreres i han d'arribar a cobrir totes les àrees d'interès, com es mostra en el mapa conceptual de la figura 2.11. Per tant, els marcs fan ús dels avanços en els diferents camps descrits, (modelització empresarial, ontologies, gestió del coneixement, plataformes, tecnologies i models de maduresa), organitzant-los dintre d'una metodologia reglada.

Amb detall es pot identificar per cadascun dels apartats analitzats els següents aspectes a millorar:

- **La integració empresarial** es considera, des del punt de vista de la investigació, un camp on els resultats i avanços ja han assolit la plena maduresa. Els grups que treballaven en aquesta àrea d'investigació han enfocat els seus objectius i la seua recerca cap a altres temes com ara la interoperabilitat. Però quan es tracta de millorar una empresa, revisar la seua integració o la seua capacitat de col·laboració interna (entre departaments o entitats pròpies de l'organització) és un punt de partida necessari i per tant les **arquitectures i metodologies en integració empresarial** són mecanismes vàlids, la aplicació dels quals s'ha de considerar sempre que siga necessari.

- Comparant els treballs ja consolidats a l'àmbit de les arquitectures en integració empresarial, i les propostes **d'arquitectures d'interoperabilitat**, es dedueix que, encara que hi ha bones propostes en aquestes darreres, és necessari seguir treballant en interoperabilitat per a assolir una maduresa i consens semblants als aconseguits en integració empresarial.
- Les **arquitectures d'interoperabilitat** descrites són una part de les que es poden trobar en la bibliografia. Totes inclouen mètodes i principis comuns com a suport de la implantació i millora de la interoperabilitat, però en general s'han proposat des d'un punt de vista teòric i la seua aplicació pràctica resulta en molts casos complicada. És necessari proposar mètodes, que encara que basats en aquests marcs i arquitectures, puguin ser aplicats de manera més pràctica i simple a les empreses.
- **La modelització empresarial** està considerada un dels aspectes claus com a suport a la interoperabilitat. Però el seu ús no és tant ampli com seria de desitjar atès a diferents factors com són per una banda, la diversitat de llenguatges de modelització i eines comercials existents per a desenvolupar aquests models i la falta d'homogeneïtat sobre el nivell i les vistes que es modelen. Per una altra, la dificultat que es planteja per a transformar models d'un llenguatge a altre o establir la correspondència de manera inequívoca. I finalment, que les empreses tenen poc hàbit i en ocasions formació insuficient sobre l'ús de models a tots els nivells per a fomentar col·laboracions amb altres empreses.
- L'enfocament de **l'enginyeria dirigida per models** proposa generar el codi dels sistemes informatitzats de manera automàtica, mitjançant l'ús de models. Encara que existeixen molts avanços i eines per a generar programari partint de la modelització a nivell PIM (Agedal, 2005), (Berre, 2004) (Pastor, 2004), pel que fa a les transformacions del nivell CIM al PIM les propostes no estan tan clares. Quan es tracta de millorar la interoperabilitat aplicant els principis d'aquest enfocament és necessari considerar la interoperabilitat entre models de tots tres nivells.
- La modelització empresarial com enuncia Vernadat (Vernadat, 2000), és l'art d'externalitat el coneixement. Però a pesar d'aquesta definició, una de les vistes per a les quals existeixen poques propostes clares de llenguatges de modelització és la vista del coneixement. Poder **modelitzar el coneixement empresarial** que cal intercanviar

entre empreses que interoperen és un punt important que pot marcar l'èxit de la col·laboració.

- A l'àmbit de les **plataformes i les tecnologies** hi ha propostes consensuades en quant a l'ús d'estàndards i plataformes compatibles per a l'intercanvi de dades o el suport prestat pels serveis web. Però la seua proliferació i varietat, així com la necessitat de combinar diferents serveis per cadascun dels nivells d'intercanvi, tal i com es mostra en la figura 2.10, fa que a vegades saber quin és l'estàndard més apropiat per a poder establir connexions amb altres plataformes no és del tot evident. Les empreses necessiten fer públics quins són els estàndards que poden facilitar la interoperabilitat amb altres i compartir avantatges i resultat sobre el seu ús.
- **Les ontologies** són un aspecte considerat clau en la interoperabilitat, per exemple com a suport de les transformacions entre models a l'enfocament de la interoperabilitat dirigida per models. Les ontologies ofereixen un mecanisme de suport per a la millora de la comunicació entre empreses a tots els àmbits: intercanvi de models empresarials, la semàntica, requisits de negoci etc. Però, poques empreses entenen clarament el concepte, coneixen la seua aplicació o consideren, a curt termini, incloure entre les millores als seus plans de sistemes implementar una ontologia empresarial. El camp d'aplicació més clarament estès és l'ús de les ontologies com a suport al web semàntic i les recerques de termes en Internet. Encara que existeixen moltes propostes des del punt de vista acadèmic, eines de suport a la creació i ús d'ontologies, i tesaurus definits en diferents sectors empresarials, l'ús d'ontologies com a suport a la comunicació de sistemes, encara és un aspecte a millorar. Orientar, formar i difondre els avantatges de l'ús i de la implantació d'ontologies és un repte per a transferir els resultats de la investigació en aquesta matèria, al camp aplicat de la indústria.
- Pel que fa als **models de maduresa en interoperabilitat**, existeixen nombroses propostes de models i nivells que es poden considerar, així com d'atributs que s'han de tenir en compte. Però, no es troben mètodes clars per a mesurar, identificant com i quins aspectes, la situació o nivell de maduresa que abasta una empresa o els processos d'una empresa. Per tant, pel que fa a la investigació, els reptes són: dissenyar mètodes senzills i pràctics perquè les empreses tinguin el suport que

requereixen per a mesurar i millorar la interoperabilitat de l'empresa de manera eficient i amb costos adequats i aplicar i provar la viabilitat d'aquests mètodes.

Un altre aspecte important a millorar és la formació en els conceptes de la interoperabilitat. Moltes empreses, encara que poc eficientment, interoperen, però no coneixen els avanços metodològics i tecnològics que es produeixen en la investigació en aquest camp.

Com a sumari de l'estat de l'art es mostra en la figura 2.11 un mapa conceptual de la interoperabilitat empresarial i en color malva aquells camps de la investigació considerats en aquest capítol. El mapa conceptual es llegeix de dalt cap a baix seguint les unions entre els conceptes. Així es mostra: com es defineix la interoperabilitat; quins són els orígens dels treballs en aquest camp; les barreres que cal superar per aconseguir la interoperabilitat plena, ombrejades en color taronja; les àrees d'interès a considerar ombrejats en color blau; els dominis ombrejats en color verd; i les arquitectures o marcs definits com a suport a la millora de la interoperabilitat; i finalment s'assenyala com es mesura.

És en aquest àmbit on s'emmarquen els resultats presentats com aportacions d'aquesta tesi. Les propostes cobreixen diferents aspectes i aporten avanços i millores per a dur a terme projectes d'interoperabilitat suportats per l'ús de la modelització empresarial, per mètodes dirigits per models i l'ús d'ontologies. Finalment, també es considera el mesurament de la maduresa en la potencialitat de la interoperabilitat com un dels temes menys detallats en els treballs existents i que aporta l'avaluació de la capacitat de les empreses per a establir noves col·laboracions, i la possibilitat d'identificar aquells aspectes i situacions que requereixen ser millorats.

La interoperabilitat és un repte complex i fins a cert punt, un aspecte abstracte perquè és una capacitat o habilitat. Per a poder desenvolupar solucions completes i adequades per a les empreses s'han de tenir en compte tots els àmbits d'aquestes, i per tant s'ha de considerar l'ús de tècniques, mètodes i eines de diferents camps del coneixement i de la investigació aplicada a les empreses i els sistemes. Però el nivell de capacitat adequat no es pot abastar només amb l'ús de millors mètodes i tecnologies, és necessària la formació i difusió d'aquells aspectes que permeten arribar a tenir l'experiència i el coneixement suficient perquè les empreses i les persones que duen a terme els seus processos assolisquen la capacitat o habilitat adient.

2. Estat de l'art en interoperabilitat empresarial

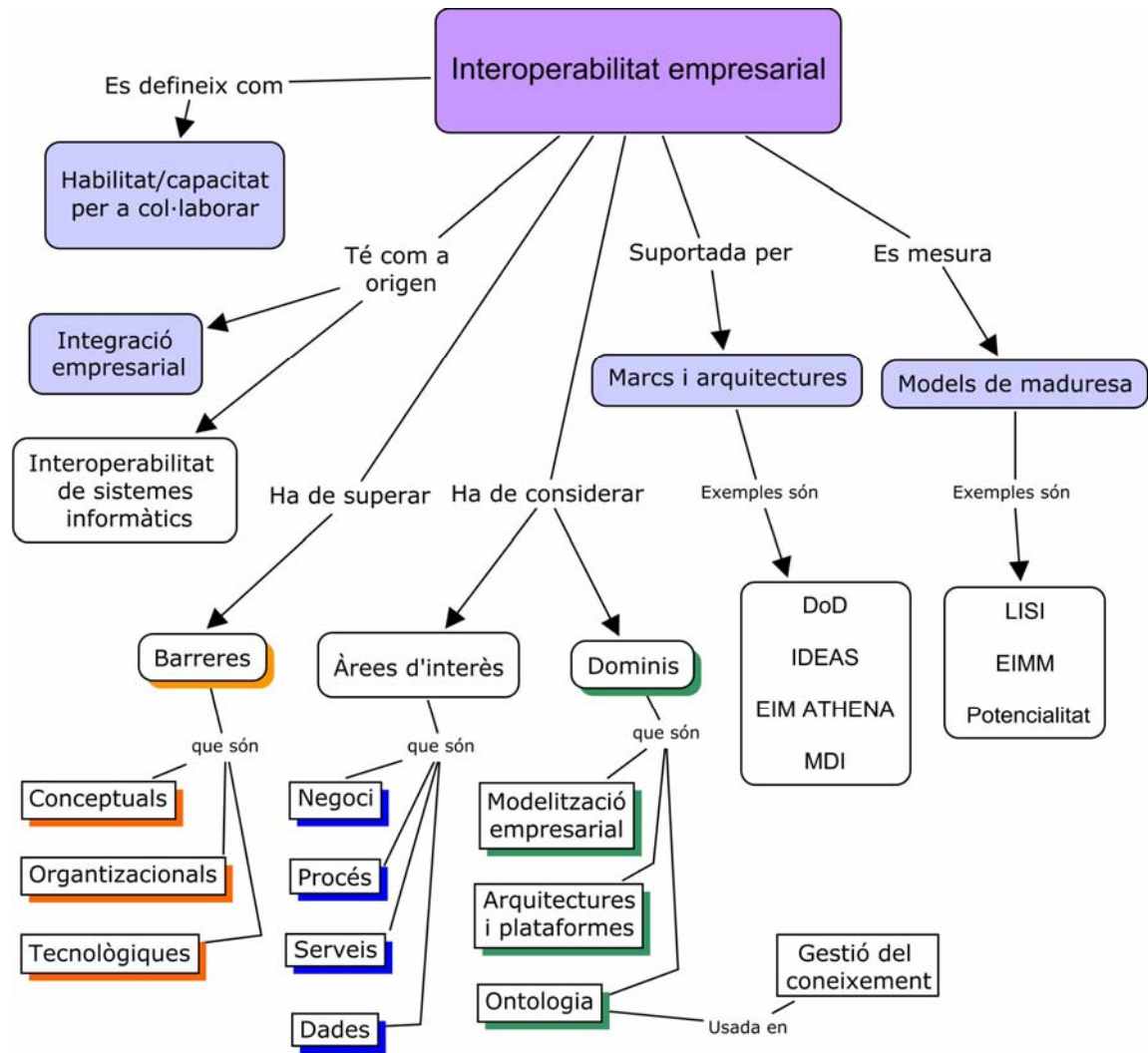


Figura 2.11. Mapa conceptual de la interoperabilitat empresarial.

3

Propostes per a la millora i mesurament de la interoperabilitat

En aquest capítol es presenta, en primer lloc, l'evolució de la investigació duta a terme per l'autora de la tesi, amb l'objectiu d'introduir el context i el fil conductor del desenvolupament d'aquestes propostes. En segon lloc, es descriu el context global on s'emmarquen les propostes presentades, i finalment, es descriuen els resultats organitzats atenent l'àmbit on es consideren, atenent el mapa conceptual de la interoperabilitat desenvolupat al capítol 2. Aquestes aportacions corresponen a publicacions en congressos o revistes científiques, i per cadascuna d'elles s'identifica la revista, els autors, les dades de la publicació i l'índex d'impacte quan hi correspon.

3.1. Evolució de la investigació

El fil conductor dels resultats que es presenten en aquesta tesi es podria dir que va començar amb el primer treball d'investigació, conduent a l'obtenció de la suficiència investigadora de la doctoranda. Aquest treball, de l'any 1996, versava en el tema de la metodologia orientada a objecte, la qual era considerada com un dels últims avanços i el més innovador enfocament de l'època per al desenvolupament de programari. Aquests mètodes van evolucionar i donar com a resultat el Llenguatge Unificat de Modelització (UML) (Unified Modeling Language) àmpliament acceptat i aplicat per al desenvolupament de programari eficient, de qualitat i reutilitzable. Posteriorment, la progressió de la investigació de la doctoranda ha anat evolucionant, a l'igual

que la recerca on s'emmarca el treball: mètodes, tècniques i llenguatges de modelització aplicats, primer a la integració, per a continuar amb la interoperabilitat de l'empresa i els sistemes d'informació.

3.1.1. Recerca en integració i empreses virtuals

Els inicis dels treballs d'investigació que han conduït a la redacció d'aquesta dissertació es van enfocar a l'estudi i millora de les arquitectures de referència en integració empresarial i en integració de xarxes d'empreses que hi col·laboren (empresa virtual). En aquest aspecte va ser crucial la incorporació de l'actual director de la tesi, la creació del Grup d'Investigació IRIS (Integració i Re-Enginyeria de Sistemes) i la participació en diferents projectes aplicats a les empreses com a transferència dels resultats d'investigació. Es van analitzar les arquitectures de referència existents des del punt de vista teòric i es va proposar una arquitectura pròpia i molt pràctica resultat de projectes amb empreses (Chalmeta, 2001). Aquests resultats es van aconseguir en el marc de diferents projectes de caràcter científic i també aplicats a l'empresa virtual en diferents sectors com ara el transport i el ceràmic (Chalmeta, 2003a, 2003b, 2005).

L'aplicació de treballs a les empreses virtuals va suposar assolir l'experiència i el coneixement en els aspectes relacionats tant amb integració de l'empresa des d'un punt de vista intern, com també, des del punt de vista de col·laboració entre empreses o entitats individuals. Aquesta col·laboració temporal entre empreses, que han de treballar igualment de manera independent, no és més que una manera d'interoperar, com es coneixeria després quan aquest terme comença a sorgir a l'àmbit de la investigació en el desenvolupament de sistemes empresarials col·laboratius.

3.1.2. Recerca en interoperabilitat

La consolidació del coneixement als camps de recerca en la integració empresarial i d'empreses virtuals i l'ús de models empresarials per a donar suport a les metodologies, va afavorir la participació del grup d'investigació en la xarxa d'excel·lència INTEROP (INTEROP, 2003), a partir de la qual es van iniciar la investigació i els projectes a l'àmbit propi de la interoperabilitat.

La participació en la xarxa INTEROP va ser un punt d'inflexió important en la trajectòria de la recerca que es presenta en aquesta tesi. En particular, participar en la xarxa va permetre aprofundir en temes com la modelització empresarial, la sincronització de models, les ontologies i la interoperabilitat en si, i també establir contactes i col·laborar amb grups de recerca en aquest àmbit d'arreu d'Europa. En la xarxa es va participar de manera directa en els grups relacionats amb l'ús de la modelització empresarial com a suport de la interoperabilitat, les ontologies i MDI i es va col·laborar en la publicació de diferents resultats de la xarxa (Campos, 2005, 2006a), (Jaekel, 2007).

L'evolució d'aquest treball en interoperabilitat va donar lloc al desenvolupament de projectes d'investigació a l'àmbit de la modelització del coneixement empresarial i d'arquitectures de suport a la interoperabilitat empresarial (Campos, 2006b, 2008), (Grangel, 2007c).

Finalment, en els últims dos anys la progressió de la investigació ha anat aprofundint en els aspectes relacionats en la millora de la interoperabilitat. En particular durant l'últim any s'ha treballat en el desenvolupament i aplicació pràctica d'una ontologia del sector tèxtil (Duque, 2009) i amb el desenvolupament de la metodologia per al mesurament de la maduresa en potencialitat de la interoperabilitat (Campos, 2010). Aquests treballs han comptat amb la col·laboració inestimable de l'empresa Marie Claire, que ha sigut el laboratori on els mètodes i tècniques proposats han pogut ser provats i millorats a partir dels resultats de la seua aplicació, dintre de l'àmbit de diferents projectes d'investigació finançats per la Generalitat Valenciana i pel 'Ministerio de Industria y Comercio'.

3.2. Marc global de les propostes de la tesi

Les propostes presentades constitueixen en si part d'un marc d'interoperabilitat, tenint en compte que un marc d'interoperabilitat aglutina diferents mètodes, eines, tècniques, millors pràctiques i casos aplicats. Les aportacions es poden integrar en un procés global per a la millora de la interoperabilitat empresarial, atenent que quan una empresa es planteja la possibilitat de millorar els aspectes que influeixen en les col·laboracions que realitza o que poden tenir lloc en un futur amb altres empreses, inicia un procés conduent a la millora de la interoperabilitat.

3. Propostes per a la millora i mesurament de la interoperabilitat

Aquest procés es mostra a les figures 3.1 i 3.2 utilitzant el llenguatge de modelització empresarial IDEF0. En aquest llenguatge les activitats es representen amb rectangles. El primer diagrama del model representa el procés global com una única activitat. Aquest procés transforma les entrades, representades mitjançant fletxes per l'esquerra, en les eixides, representades mitjançant fletxes que ixen per la dreta. Les fletxes que es representen en la part superior de les activitats corresponen a les normes i controls que s'han d'aplicar per a dur-les a terme, i les fletxes de la part inferior, els recursos utilitzats pels processos o activitats.

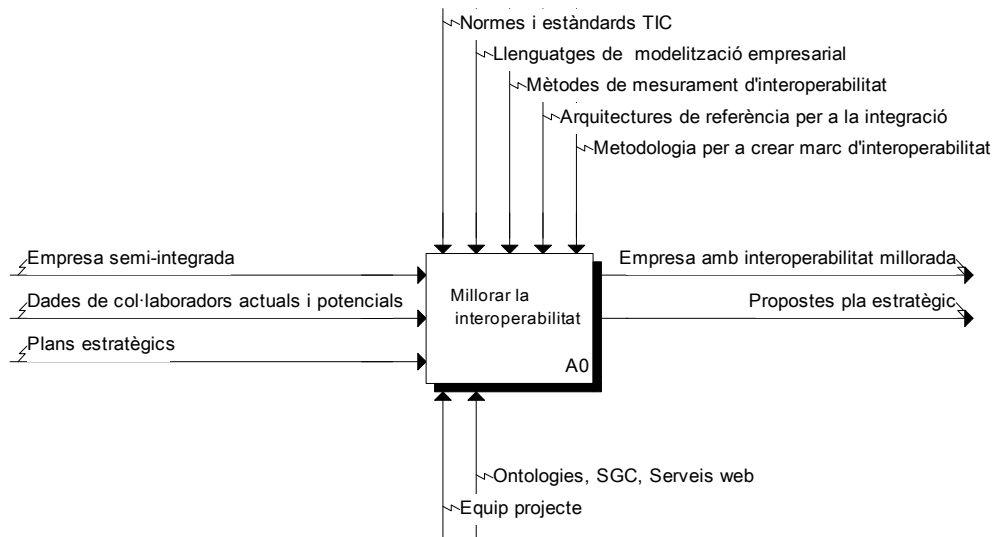


Figura 3.1. Diagrama del primer nivell del model IDEF0 de l'aplicació de les propostes.

La figura 3.1 mostra el diagrama A-0 corresponent al primer nivell. En aquest model les propostes de mètodes d'aquesta tesi, i altres existents, es consideren controls (representats com fletxes a la part superior de les activitats); com a recursos que es poden usar, es consideren les plataformes tecnològiques, les ontologies i els recursos humans. L'entrada representa l'empresa abans de la millora i les dades necessàries que s'han de recopilar per a dur a terme la millora. Els resultats que s'obtenen, després de l'aplicació dels mètodes i ús de recursos adequats, són l'empresa amb la interoperabilitat millorada i propostes de millora que es poden incorporar als plans estratègics.

3. Propostes per a la millora i mesurament de la interoperabilitat

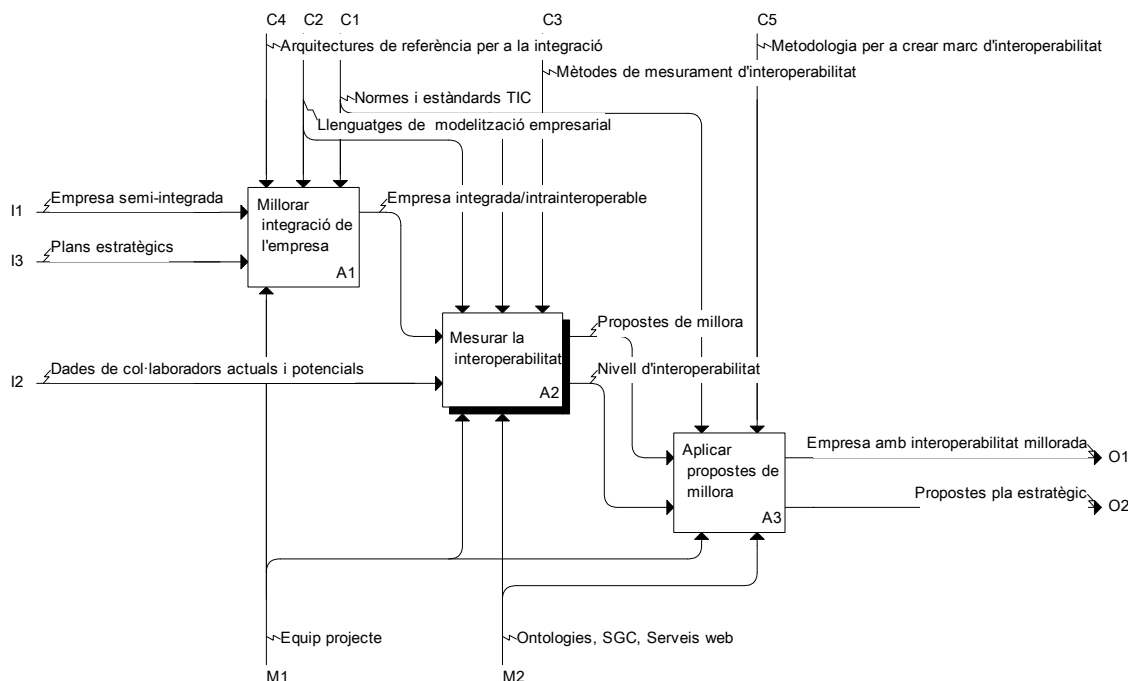


Figura 3.2. Diagrama del segon nivell del model IDEF0 de l'aplicació de les propostes.

En la figura 3.2 es mostra el diagrama corresponent al segon nivell del model IDEF0, que correspon a la descomposició del procés principal en activitats, les quals, de manera detallada, són:

- 1. Revisió dels processos de l'empresa per tal de millorar la seua d'integració.**
 Inicialment s'hauria de dur a terme la revisió dels processos interns, de les interrelacions entre els departaments, i de les entitats que formen part de la seua cadena de subministrament, si és el cas. En aquest primer pas s'aplicarien la metodologia, les tècniques i la modelització empresarial proposada en l'arquitectura de referència per a la integració empresarial que es proposa a l'apartat 3.2.1. La integració empresarial, com s'ha mencionat a l'estat de l'art, és un camp on la investigació i la seua aplicació pràctica ha arribat a un nivell de maduresa alt i, per tant, moltes empreses apliquen ja aquests principis de manera adequada. Però, quan es comença una millora a l'àmbit de la interoperabilitat, la integració correcta dels processos interns de l'empresa és un requisit previ. Per tant, cal avaluar la seua situació en aquest àmbit i

3. Propostes per a la millora i mesurament de la interoperabilitat

millorar aquells aspectes on es troben deficiències abans d'iniciar la millora de la interoperabilitat.

2. **Mesurament** de la situació actual de la **interoperabilitat**. Per a establir unes bones practiques a l'hora d'iniciar un projecte d'interoperabilitat, cal primerament identificar quina és la situació actual pel que respecta a la interoperabilitat i quins són aquells punts que requereixen una millora per tenir mancances o una feblesa en quant al seu funcionament. La proposta que es presenta per a mesurar la potencialitat de la interoperabilitat, inclou una metodologia i el conjunt de paràmetres que s'han de considerar per a mesurar-la. El conjunt de paràmetres es basa en les condicions que ha de complir l'empresa tenint en compte els dominis de la interoperabilitat (modelització empresarial, ontologies i arquitectures i plataformes) i les capes de l'empresa (negoci, coneixement, tecnologies i la capa semàntica transversal). En particular els paràmetres es proposen a partir dels altres resultats inclosos com aportacions en aquesta tesi, i tenint-ho en compte s'haurien d'avaluar els següents àmbits:
 - 2.1. La **modelització empresarial** utilitzada en una empresa com a suport de la interoperabilitat s'ha de mesurar tenint en compte el nivell d'ús dels llenguatges de modelització, la capacitat per a intercanviar models i la sincronització de models. En aquesta tesi es proposen resultat concernents a l'ús de models com a suport a la interoperabilitat i també els requisits que han de complir els models per a poder assolir la seua sincronització.
 - 2.2. **Plataformes i arquitectures**, l'ús d'estàndards i serveis web que permeten intercanviar informació, documents i fer que els processos de diferents empreses puguin interoperar de manera satisfactòria és un aspecte fonamental i àmpliament tractat en la investigació i en la pràctica. Mesurar la disponibilitat i ús d'aquestes eines proporciona un punt de partida per a definir les necessitats de millora tecnològica en l'empresa.
 - 2.3. La **gestió del coneixement** és un altre aspecte clau a l'hora de mesurar el nivell de maduresa en interoperabilitat assolit. La existència, o no, de sistemes de gestió del coneixement i el seu ús permeten valorar la preparació de l'empresa per establir relacions amb èxit. En aquest aspecte la proposta que es presenta en aquesta tesi proporciona un perfil d'UML per tal de modelitzar coneixement

empresarial i poder integrar els models obtinguts en una metodologia de generació de programari (MDA), amb l'objectiu de generar un sistema de gestió del coneixement. Aquest seria un primer pas per a poder establir una arquitectura dirigida per models de suport a la interoperabilitat, que incloga els sistemes de gestió del coneixement.

- 2.4. Les **ontologies** són un aspecte clau que cal mesurar a l'hora d'identificar la situació actual i la preparació de l'empresa per a interoperar amb unes altres. Com desenvolupar ontologies és un aspecte important que resulta complex a les empreses. Com a aportació en aquest domini es presenta un exemple de desenvolupament d'una ontologia de suport a la interoperabilitat, que pot servir de guia a altres empreses interessades en la millora d'aquest aspecte.
3. Una vegada s'ha mesurat la situació de l'empresa pel que concerneix a la interoperabilitat, cal definir propostes i projectes de millora en aquells processos i dominis on es trobe que el nivell assolit no és suficient. Com a proposta s'inclou a l'apartat 3.2.3.1 una **metodologia per al desenvolupament d'un marc de serveis de suport a la interoperabilitat** i que es considera dins de la secció del domini **d'arquitectures i plataformes**. Aquest marc permetrà l'empresa, per una banda, tenir de manera explícita les eines, serveis i mètodes de què disposa per a prestar suport a la interoperabilitat amb altres, i per una altra, permet que possibles col·laboradors tinguin accés a les eines, serveis i mètodes que ha d'usar per desenvolupar un projecte d'interoperabilitat amb l'empresa en qüestió.

En la figura 3.3 que parteix del mapa conceptual d'interoperabilitat dissenyat com a síntesi de l'estat de l'art al capítol 2, es mostra en color blau clar en quins àmbits s'han produït les aportacions d'aquesta tesi.

Així els resultats corresponen als àmbits de la integració empresarial, l'ús de la modelització empresarial i les ontologies, les plataformes que presten suport a la interoperabilitat, i MDI (en particular aplicat a la modelització del coneixement), i la darrera contribució en el marc del mesurament de la maduresa en interoperabilitat.

3. Propostes per a la millora i mesurament de la interoperabilitat

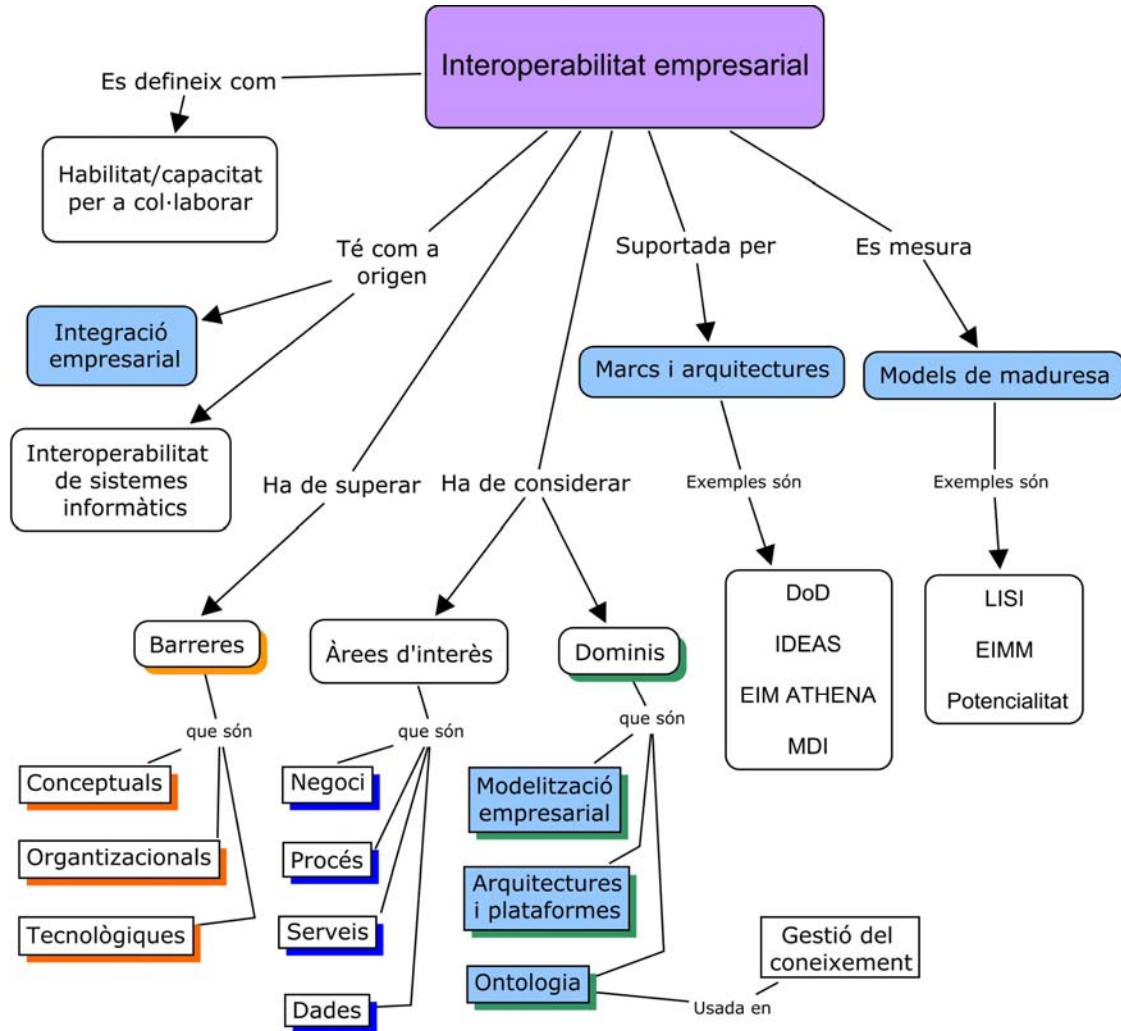


Figura 3.3. Mapa conceptual de la interoperabilitat amb els àmbits de les propostes.

Les aportacions integrades en aquest procés, es consideren dintre dels àmbits estudiats i aporten solucions a les necessitats identificades a l'estat de l'art. A la taula 3.1 es mostra la correspondència entre els àmbits, necessitats identificades quin resultats es presenten que aporten solucions i mètodes per a aquestes necessitats

Àmbit	Necessitat	
Arquitectures de referència	Aplicabilitat a cassos reals	References Architectures for Enterprise Integration An Approach to Enterprise Integration
Modelització empresarial	Formació, llenguatges d'intercanvi, sincronització de models	Interoperability Supported by Enterprise Modelling Requirements to Improve the Synchronization of Inter-Enterprise Models
Plataformes per a la millora de la interoperabilitat	Guies per a definir i fer públics estàndards usats	A Methodological Proposal for the Development of an Interoperability Framework
MDI i coneixement empresarial	Modelització del nivell CIM, i transformacions del CIM-PIM	Using UML Profiles for Enterprise Knowledge Modelling
Ontologies	Formació, mètodes i guies senzills, cassos reals	An Ontological Solution to Support Interoperability in the Textile Industry
Mesurament de la interoperabilitat	Mètodes de mesurament	Methodology for Measuring Interoperability Potentiality

Taula 3.1. Necessitats de la interoperabilitat i propostes.

3.3. Propostes i contribucions

Les propostes s'han organitzat atenent els àmbits en interoperabilitat empresarial descrits al capítol de l'estat de l'art. Algunes d'aquestes contribucions descrites podrien ser considerades en dos dels apartats, ja que tal com s'ha mencionat a l'estat de l'art, els conceptes estudiats estan interrelacionats.

En cada apartat de les contribucions s'inclou una figura amb part del mapa conceptual de la interoperabilitat empresarial presentat en la figura 3.1, ressaltant en color el concepte on corresponen les contribucions descrites. Per a cada proposta es detalla la revista, llibre o conferència on s'han publicat i l'índex d'impacte quan hi correspon.

3.3.1. Arquitectures de referència en integració empresarial

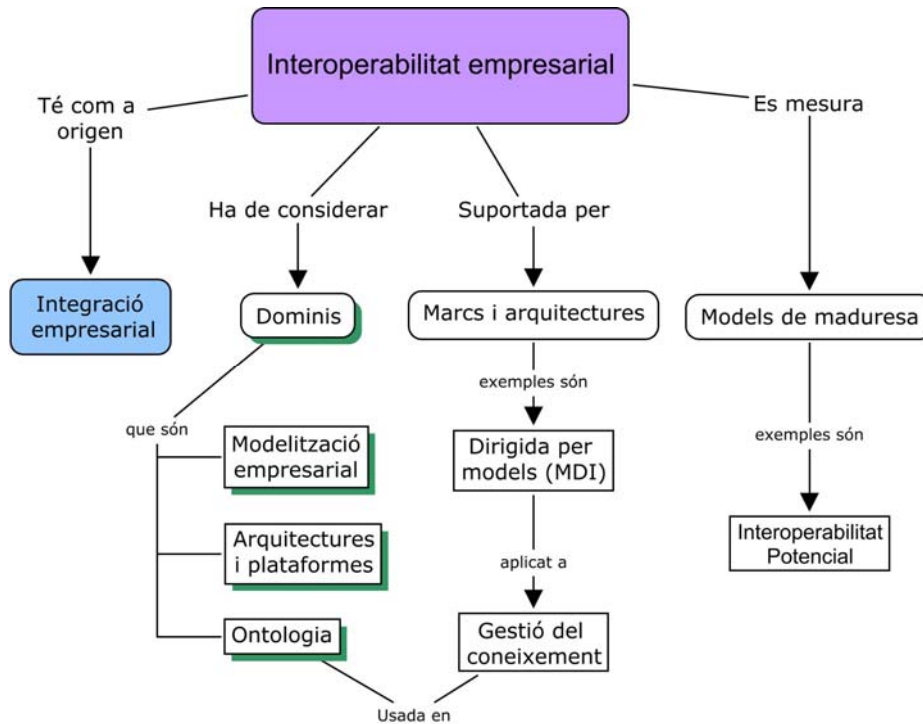


Figura 3.4. Mapa conceptual. Aportacions en arquitectures en integració empresarial.

En aquest apartat s'inclouen dos dels resultats desenvolupats i aplicats a la integració empresarial. Encara que la investigació en aquest camp, com ja s'ha mencionat a l'estat de l'art, s'ha orientat cap a altres aspectes, els resultats en metodologies pràctiques aplicables en les empreses com els que es descriuen a continuació, són igualment vàlids i adequats actualment.

Els resultats que es presenten van suposar en el moment de la seua publicació una millora respecte a les arquitectures existents. A més a més de cobrir tots aquells aspectes que es declaraven com a requisits d'una arquitectura de referència en GERAM, proveeixen d'una metodologia clara i senzilla d'aplicar a les empreses tal i com es demostra en el projectes duts a terme en empreses reals.

3.3.1.1. References Architectures for Enterprise Integration

Autors: R. Chalmeta, C. Campos, R. Grangel

Revista: The Journal of Systems and Software

Editorial: Elsevier Science Inc (USA)

Volum: 57

Pàgines: 175-191

Any: 2001

ISSN: 0164-1212

Indexat /arbitrat JCR: Computer Science, Software Engineering (0, 44; 44/75; 25)

SCOPUS: citat per 25

Alinear i coordinar els diferents aspectes tecnològics, culturals, humans i organitzatius d'una empresa amb l'objectiu de dissenyar i implantar un sistema d'informació integrat que assegure el màxim rendiment dels recursos i processos de l'empresa, pot resultar complicat si no es compta amb una metodologia organitzada, un ús adequat de la modelització empresarial, eines de suport a la modelització i al desenvolupament de les activitats proposades en la metodologia, i exemples.

Existeixen diferents propostes per a resoldre aquest problema que s'inclouen en el que es denomina 'Arquitectura de referència per al integració empresarial'. Després d'analitzar algunes de les més completes, i veure quins són els requisits definits que ha de complir una arquitectura de referència, es presenta una nova proposta en aquest àmbit denominada ARDIN, que millora els plantejaments existents incorporant noves metodologies, tècniques, mètodes i models. L'arquitectura ARDIN és un marc que inclou cinc dimensions com es mostra en la Figura 3.5, que són: una metodologia guiada pas a pas, models de referència, un model integrat de l'empresa, un conjunt d'eines de suport als processos de creació d'una empresa integrada i la gestió del canvi.

Els principals avantatges identificats, després d'avaluar alguns dels casos d'aplicació d'aquesta arquitectura a diferents empreses, són:

- Aconseguir un marc homogeni de referència per a l'empresa que permet verificar que les activitats dutes a terme i els serveis oferts, tenen un nivell de qualitat adient.
- Integrar la cadena de valor, la qual cosa té efecte en la millora de la gestió, minvant els costos globals i incrementant la qualitat dels serveis.

3. Propostes per a la millora i mesurament de la interoperabilitat

- Establir un procediment que garanteix la validació i renovació dels processos, per a aconseguir diferents objectius estratègics a mida que es van identificant.
- Involucrar els futurs usuaris, per tal que quan s'implante el nou mapa de processos tinga un desenvolupament positiu afavorit per d'implicació dels usuaris.
- Crear un factor cultural de canvi entre el personal de la companyia buscant un estil més participatiu de gestió i introduint processos de millora continuada en les seues activitats.

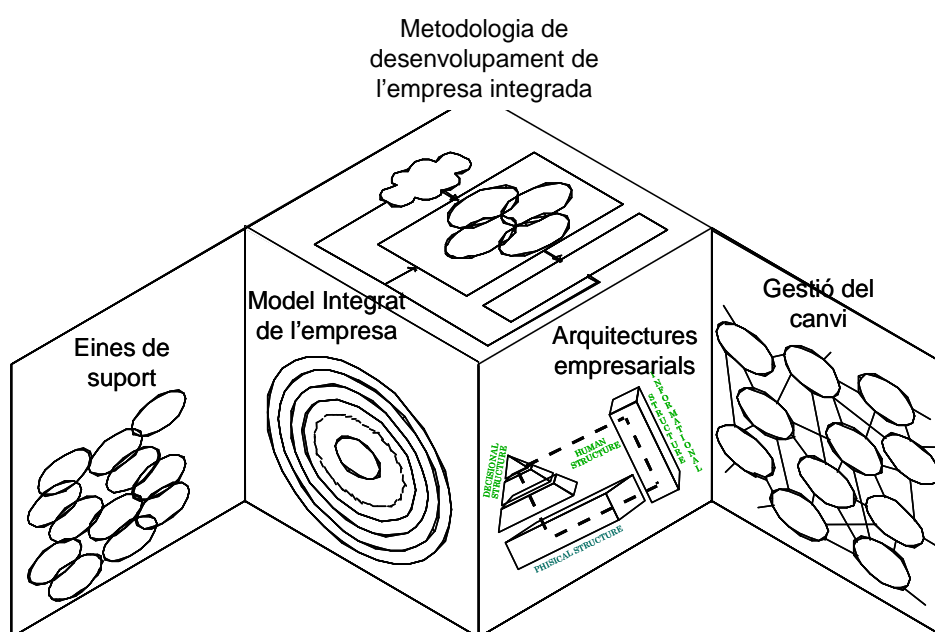


Figura 3.5. Les cinc dimensions de l'arquitectura de referència ARDIN.

Un exemple de la rellevància d'aquesta línia d'investigació és el desenvolupament d'un projecte conjunt de l'IFAC/IFIP amb l'objectiu d'agrupar els diferents plantejaments existents, en el moment en el qual es desenvolupa aquesta investigacions, en el camp de les arquitectures de referència en integració empresarial, que es va emmarcar dintre del programa de treball de la ISO TC184/SC5/WG1.

En la figura 3.6 es mostra la metodologia desenvolupada dintre de l'arquitectura i que va s'ha aplicat a diferents projectes pràctics en empreses reals amb èxit. Aquestes aplicacions han permés validar i millorar la metodologia i l'arquitectura.

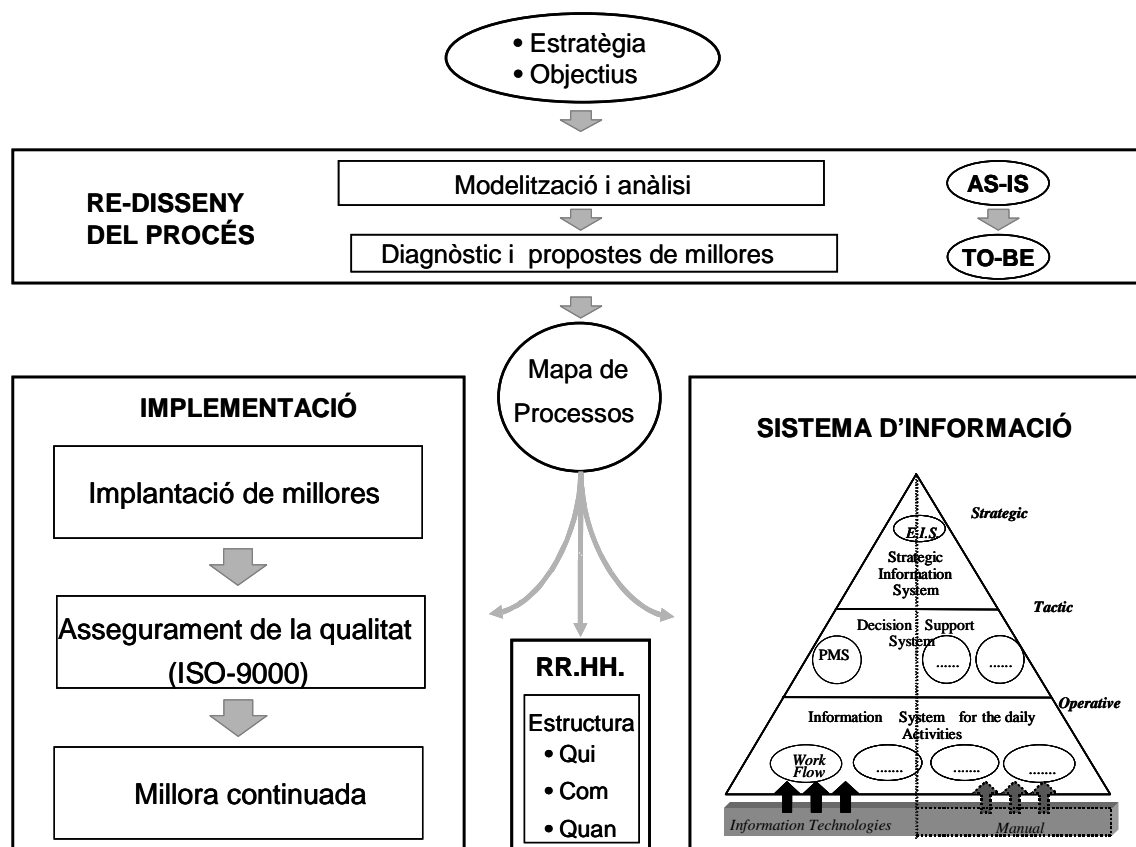


Figura 3.6. Metodologia IRIS per a la integració de l'empresa.

3.3.1.2. An Approach to Enterprise Integration

Autors: R. Chalmeta, R. Grangel, C. Campos

Llibre: Knowledge and Model Driven Information Systems Engineering for Networked Organizations. CAiSE'04 Workshops Proceedings, Grundspenkis, J.; Kirikova, M. (Eds.)

Editorial: Faculty of Computer Science and Information Technology, Riga Technical University

Volum: 3

Pàgines: 253-256

Any: 2004

ISBN: 9984-9767-3-4

Index: CiteSEER posició 436 de 1221 (0.74%). En CORE (Australian Ranking of ICT Conferences) Nivell A

3. Propostes per a la millora i mesurament de la interoperabilitat

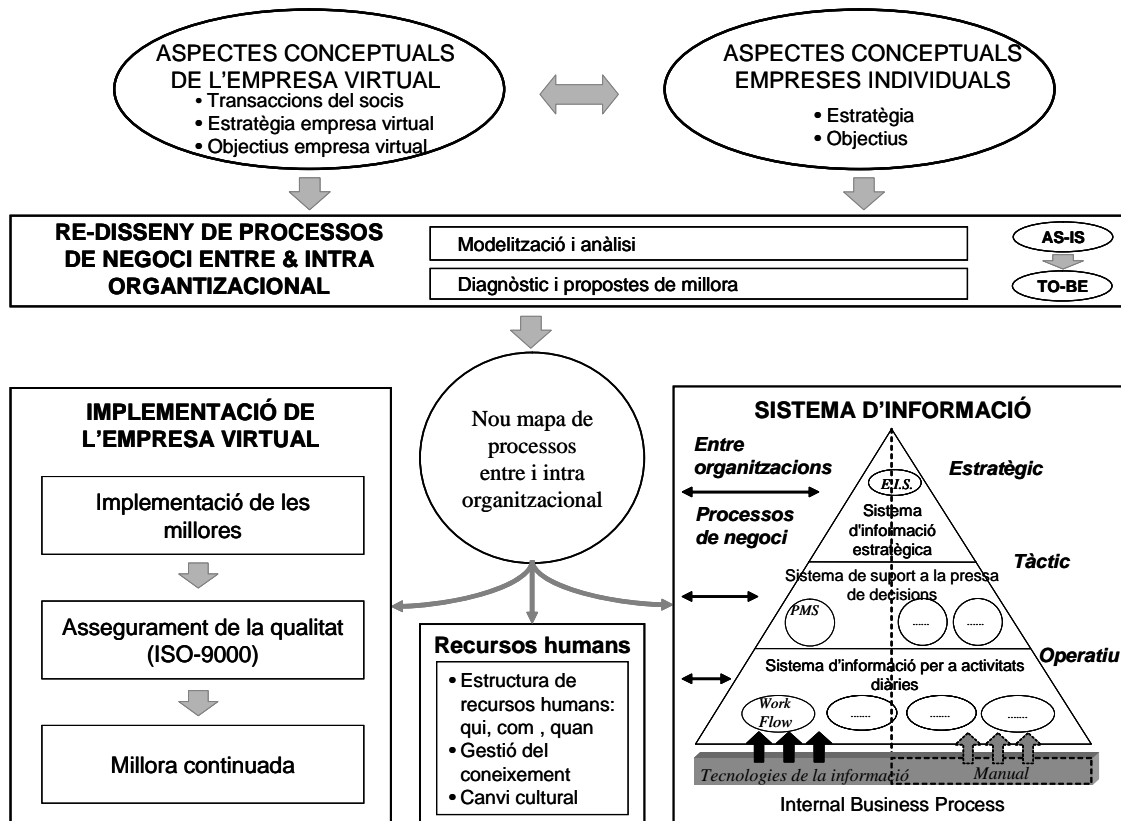


Figura 3.7. Metodologia IRIS per a la integració de l'empresa virtual.

Com a millora de l'arquitectura ARDIN (Chalmeta, 2001) es considera la necessitat d'ampliar la proposta per tal d'incloure aspectes i mètodes que presten suport, no només a la integració d'una empresa, sinó també, a la integració dels sistemes d'informació, els processos i els recursos empresarials de diferents empreses que volen establir una col·laboració o empreses virtuals.

En aquest context s'han desenvolupat diferents projectes relacionats amb aspectes del comerç electrònic en el sector ceràmic (Grangel, 2004) i amb CRM (Customer Relationship Management) de petites i mitjanes empreses que van proporcionar la base de la investigació i els resultats per a la proposta realitzada. La metodologia proposada, veure figura 3.7, té en compte: la integració interna de l'empresa (intra-organitzacional), considerant activitats decisions recursos i informació; la integració de l'empresa amb altres participants en la cadena

de valor (inter-organitzacional), molt especialment amb clients; i finalment la identificació dels papers jugats pels recursos humans i el coneixement que posseeixen.

3.3.2. Modelització i sincronització de models en interoperabilitat

En aquest apartat s'inclouen aquelles aportacions relacionades amb l'ús de models com a suport a la interoperabilitat empresarial. La primera aportació va ser un treball conjunt amb diferents investigadors del grup de treball de la xarxa INTEROP on participava l'autora de la tesi. L'article descriu diferents casos pràctics aportats pels autors, entre els quals es pot trobar la descripció dels treballs desenvolupats per la doctoranda en l'àmbit de l'ús de models com a suport de les empreses virtuals i per tant, de la interoperabilitat entre empreses. El treball emfatitza els avantatges de l'aplicació de la modelització empresarial com una eina eficient de suport als projectes d'interoperabilitat. Aquesta teoria està suportada amb la descripció de diferents casos pràctics on l'ús de models empresarials ha sigut un punt clau per a aconseguir de manera eficient col·laboracions entre diferents tipus d'empreses.

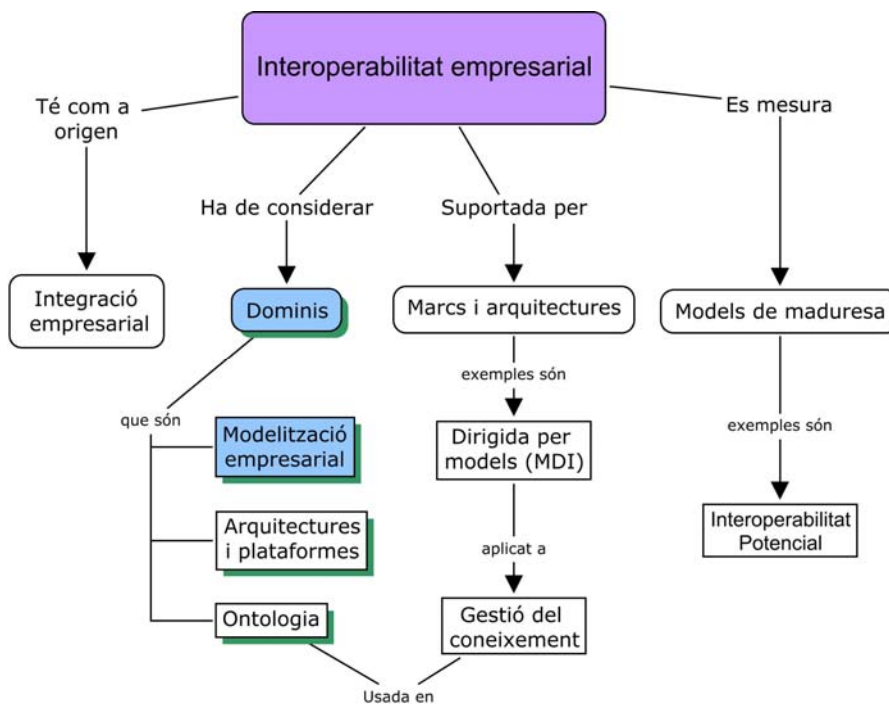


Figura 3.8. Mapa conceptual. Aportacions en modelització empresarial.

La segona aportació està enfocada a la sincronització de models, en particular aprofundeix en aquest concepte i proposa quines són les necessitats per a aconseguir models sincronitzats entre empreses que volen establir col·laboracions.

3.3.2.1. Interoperability Supported by Enterprise Modelling

Autors: F-W. Jaekel, N. Perry, C. Campos, K. Mertins, R. Chalmers

Revista: On the Move to Meaningful Internet Systems 2005: OTM 2005 Workshops

Editorial: Springer Verlag Berlin (USA)

Volum: LNCS3762 **Pàgines:** 552-561 **Any:** 2005

ISSN: 0302-9743

JCR: (2005) Computer Science, Theory & Methods (0,402; 62; 38975)

La modelització empresarial és una disciplina necessària per a establir la interoperabilitat entre empreses. La interoperabilitat empresarial, que es defineix como la capacitat que tenen les empreses i els sistemes d'informació d'interactuar amb el mínim esforç per la seua part, es pot assolir amb millor garanties d'èxit si es desenvolupa una metodologia suportada per models empresarials. L'aplicació de la modelització empresarial facilita la comprensió comuna dels processos de negoci de les empreses, quan es tracta d'establir col·laboracions inter-empresarials. Aquest requisit és encara més palès quan comporta la interconnexió entre els sistemes tecnològics i de les comunicacions i configuracions que han d'interactuar. Però l'aplicació de la modelització empresarial per a ajudar la interoperabilitat entre empreses es troba tant amb punts forts i valors com limitacions i deficiències.

Quan es fa ús de models per tal de compartir el coneixement, com ara a l'hora de desenvolupar sistemes informàtics que donen suport a col·laboracions entre empreses, es poden trobar problemes que van més enllà del llenguatge de modelització emprat. Per exemple, el mateix concepte pot ser definit amb termes diferents o termes igual poden tenir significats diferents (fins i tot amb el mateix idioma). Uns altres problemes tenen a veure en el control de canvis, pel que fa que un model empresarial associat a altres models d'altres empreses requereix procediments clars de com dur a terme modificacions.

Després d'analitzar diferents exemples de l'ús de models per tal de donar suport a col·laboracions entre empreses de diferents tipus, s'extrauen els següents avantatges i punts forts que hi aporta la modelització empresarial:

- Permet identificar els potencials de les companyies per a actuar enfront diferents cooperacions.
- Capacita les empreses a participar en col·laboracions perquè facilita compartir les dades i la informació requerida entre les empreses.
- Clarifica les connexions entre els processos de les companyies i les necessitats tecnològiques il·lustrant les operacions addicionals per a establir les col·laboracions.
- Presta suport per a coordinar i sincronitzar les estructures i els processos de les empreses, identificant aquells aspectes que afavoreixen o que inhibeixen la interoperabilitat.

Exemples de l'ús de la modelització empresarial com a suport de la interoperabilitat entre empreses a l'àmbit europeu són:

- SPIDER-WIN: Supply Information Dynamic Exchange and Control by Web-based Interaction network (SPIDER-WIN, 2005).
- Information Consolidation tool in order to build knowledge based information environments (Candlot, 2005).
- Economical Model Integration (Perry, 2005).
- Integració de l'empresa virtual ceràmica (Chalmers, 2003b).

Com a conclusió d'aquesta anàlisi, per arribar a la comprensió i intercanvi dels models empresarials de manera satisfactòria és necessari utilitzar llenguatges de modelització d'intercanvi i a més a més, aplicar mètodes de sincronització de models.

Tenint en compte l'experiència adquirida als diferents projectes es proposa una metodologia basada en el coneixement, amb tres fases per assegurar la gestió correcta i coherent del projecte. Aquestes fases són:

- Definició de la infraestructura del projecte, definint els elements fonamentals. Es basa en un enfocament sintàctic/semàntic dels conceptes del model del projecte, per a diferenciar-los.
- Arquitectura del projecte que explica les relacions entre els elements i com es distribueixen.

3. Propostes per a la millora i mesurament de la interoperabilitat

- Generació de documents descrivint les especificacions de l'aplicació basada en el coneixement per al seu posterior desenvolupament.

3.3.2.2. Requirements to Improve the Synchronization of Inter-Enterprise

Models

Autors: C. Campos, R. Grangel, R. Chalmeta

Revista: Business Process Management- BPM 2005 Workshops, Bussler, C.; et al. (Eds.)

Editorial: Springer Verlag Berlin (USA)

Volum. LNCS3812 **Pàgines:** 353-362 **Any:** 2006

ISSN: 0302-9743 **ISBN:** 3-540-32595-6

Índex: ISI Proceedings

Les empreses virtuals constitueixen un dels exemples de xarxes de empreses que hi col·laboren mantenint la seua independència, per tant interoperen. L'ús de la modelització empresarial com a suport per a establir aquesta interoperabilitat és un aspecte clau per a l'èxit de la col·laboració. Per aconseguir la plena comprensió dels models de les empreses envoltades en la xarxa virtual serà necessari aplicar principis i mètodes per poder transformar-los i intercanviar-los. Inicialment es pot considerar UEML (UEML, 2007), tenint en compte que l'aplicació de llenguatges o metallenguatges de modelització per a l'intercanvi de models permet realitzar transformacions de conceptes i objectes representats. Però hi apareixen necessitats afegides per a tenir una completa comprensió dels models intercanviats: conceptes equivalents poden expressar-se en termes diferents o ser representats de diferents formes, a més a més, els models poden ser diferents considerant la persona que els dissenya. Per poder donar resposta a aquesta problemàtica es planteja la sincronització de models.

En aquest àmbit es defineix la sincronització de models com *l'adequada coordinació temporal i de continguts per a poder optimitzar la integració dels ítems representats*. La sincronització té com a objectiu donar suport a la comprensió dels models una vegada s'han aplicat llenguatges de modelització d'intercanvi. Models expressats en el mateix llenguatge o formalisme poden tenir diferents interpretacions degut a les diferències culturals, experiència i formació dels desenvolupadors, idiomes, etc. A més a més, la sincronització té en compte aspectes relacionats amb el control de canvis i manteniment dels models tal com es mostra en la figura 3.9.

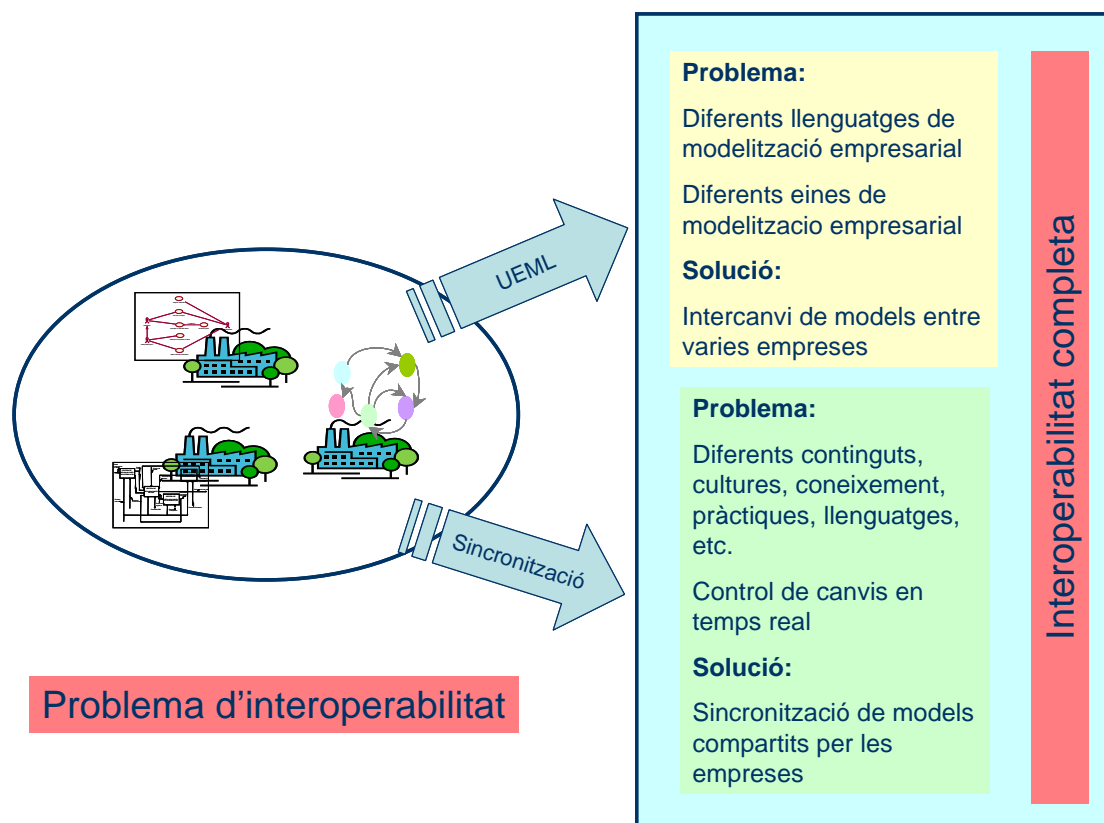


Figura 3.9. Sincronització de models per a donar suport a la interoperabilitat.

Tenint en compte que la interoperabilitat empresarial i dels sistemes d'informació es pot assolir amb més èxit si es sustenta en els models empresarials, és necessari establir mecanismes que permeten sincronitzar aquests models.

Com a primer pas s'especifica un conjunt de requisits que han de tenir en compte les empreses per a sincronitzar els seus models. Aquests requisits es classifiquen atenent els dominis de la interoperabilitat en: organitzacionals, ontològics, tecnològics i de llenguatges de modelització.

Els requisits definits s'obtenen com a resultat del treball desenvolupat en diferents projectes a l'àmbit de les empreses virtuals (Chalmeta, 2003b, 2005), del treball d'investigació dut a terme en la xarxa INTEROP (Jaekel, 2005), (Campos, 2005, 2006a) i de l'estudi dels resultats proposats sobre requisits de llenguatges de modelització empresarial en el projecte europeu UEML (UEML, 2007). En la taula 3.2 es mostra el resum d'aquests requisits.

3. Propostes per a la millora i mesurament de la interoperabilitat

Aquesta proposta és un primer pas per a definir els aspectes que és necessari perquè l'ús de models empresarials com a suport a la interoperabilitat siga eficient i fiable. En aquest aspecte s'ha de seguir investigant per tal d'identificar més necessitats i eines que donen suport a la sincronització de models.

Categoria	Requisit
Organitzacionals i decisionals	Definir procediments i mecanismes per a facilitar l'intercanvi de models entre empreses
	Capacitat de detectar canvis en els models que estiguen relacionats amb els d'altres empreses
	Generar i descriure els canvis que afecten a altres models i com. Notificació de canvis
	Definir procediments i mecanismes perquè les empreses amb les quals interactua puguin acceptar o rebutjar els canvis
	Definir nivells de seguretat d'accés als models segons els perfils dels usuaris
Ontològics	Mantenir la consistència de la informació entre models
	Definir conceptes comuns per tal d'adaptar i connectar els models entre les empreses
	Definir correspondències (mapejat) entre conceptes
Tecnològics	Definir diferents nivells d'automatització per a les modificacions dels models (manuais, semiautomàtic o automàtic)
	Sistema de control de versions i canvis
	Proveir un format estàndard d'intercanvi per intercanviar models
	Ús d'eines basades en computadors per a donar suport a la sincronització de models
	Possibilitar accés concurrent als models, però controlant els canvis

Taula 3.2. Requisits per sincronitzar models empresarials.

3.3.3. Plataformes de suport a la interoperabilitat empresarial

En aquesta secció s'inclou l'aportació que proposa una metodologia per al desenvolupament d'un entorn de suport a la interoperabilitat empresarial. Aquest entorn es pot considerar com una plataforma de serveis on es dóna accés a totes les utilitats i mètodes dels quals pot disposar una empresa per facilitar la seua interoperabilitat amb altres.

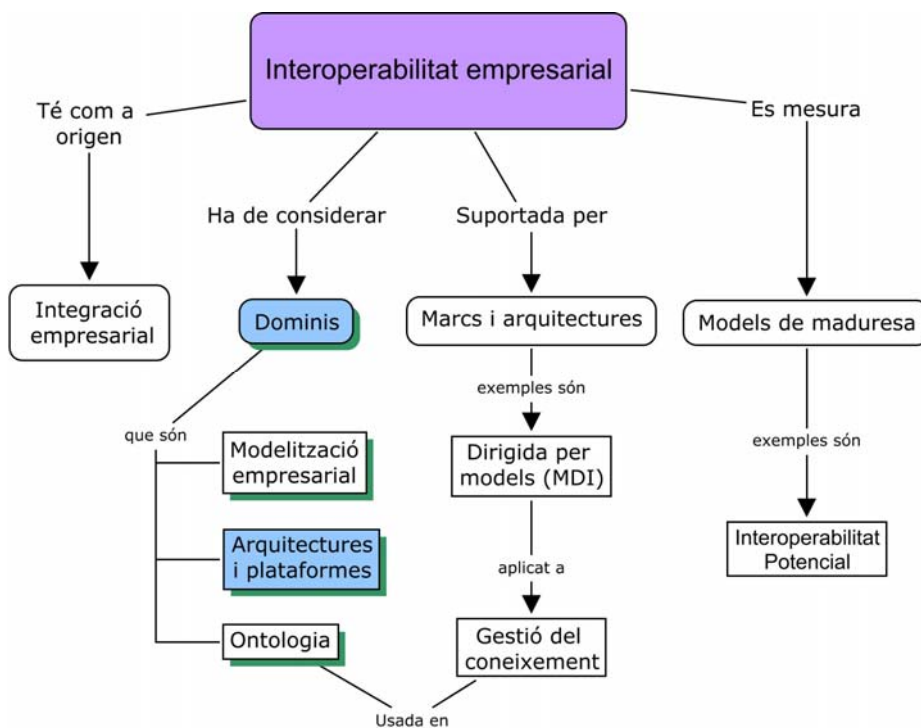


Figura 3.10. Mapa conceptual. Aportacions en plataformes i arquitectures.

3.3.3.1. A Methodological Proposal for the Development of an Interoperability Framework

Autors: C. Campos, I. Martí, R. Grangel, A. Mascherpa, R. Chalmeta

Revista: CAISE 08 MDISIS'08 - First International Workshop on Model Driven Interoperability for Sustainable Information Systems. CEUR Workshop Proceedings Series

Editorial: CEUR

Volum: 340

Pàgines: 47-57

Any: 2008

ISSN: 1613-0073

A l'àmbit de les metodologies de suport a la interoperabilitat no es troba de manera clara com poden les empreses implementar solucions pràctiques adreçades a possibles col·laboradors.

Considerant les propostes metodològiques existents en aquest camp, i els diferents dominis, eines i recursos que donen suport a la interoperabilitat, es proposa una metodologia que permet

3. Propostes per a la millora i mesurament de la interoperabilitat

les empreses desenvolupar un entorn o plataforma oberta a possibles col·laboradors, on es publica documents que fan referència a normes i estàndards aconsellats o usats per l'empresa i eines de suport a l'establiment i millora de la interoperabilitat.

És a dir, aquest marc o plataforma ajuda les empreses perquè estiguen preparades per a interoperar mitjançant la definició de les necessitats i requisits particulars de l'empresa i els facilita la manera de fer públiques aquestes necessitats per tal d'afavorir possibles relacions amb altres empreses o organitzacions.

La proposta és una metodologia guiada pas a pas que assoleix dos objectius: definir les necessitats i les possibles situacions d'interoperabilitat amb les quals es pot enfrontar l'empresa, i dissenyar una plataforma on s'inclouen les guies metodològiques, normatives i requisits particulars de l'empresa tant per a l'ús propi, com per al dels seus col·laboradors actuals i potencials.

La metodologia s'articula en cinc fases, que es subdivideixen en activitats i per a les quals es proposen les tècniques a utilitzar i es defineixen els resultats esperats, tal com es mostra i descriuen en la taula 3.3.

Processos	Activitats	Tècniques	Resultats
Definició d'aspectes conceptuals	Definició d'abast i restriccions	Tècniques de recopilació d'informació	Visió específica i necessitats
	Definició d'objectius estratègics relacionats amb la interoperabilitat		Estratègia de l'empresa cap la interoperabilitat
	Identificació de col·laboradors actuals i potencials		Objectius d'interoperabilitat
	Anàlisi de viabilitat	Anàlisi de costos i beneficis	Avaluació de costos i beneficis
Identificació de situacions d'interoperabilitat	Identificació de problemes d'interoperabilitat	Turmenta d'idees i reunions de treball amb usuaris	Situacions d'interoperabilitat i diagnòstics
	Identificació de processos de negoci i àrees involucrades en situacions d'interoperabilitat	EML	Escenaris d'interoperabilitat
	Classificació de les situacions d'interoperabilitat	Ontologies	Especificació de l'ontologia
	Avaluació de necessitats	Tècniques d'anàlisi	Classificació dels socis i requisits
	Disseny dels processos de negoci identificats (revisió si existeixen)	EML	

3. Propostes per a la millora i mesurament de la interoperabilitat

Processos	Activitats	Tècniques	Resultats
Disseny dels procediments i de la plataforma	Disseny dels procediments i de les bases de dades per a mantenir la documentació i la informació dels col·laboradors	Enginyeria del programari	Disseny dels procediment d'usuari i del sistema
	Disseny del portal web		Disseny de les especificacions tècniques del sistema
	Disseny de l'ontologia i de l'arquitectura de maquinari		Ontologia i components de l'arquitectura del marc
	Disseny dels processos d'intercanvi i interfícies		Disseny de les interfícies d'intercanvi de dades
	Avaluació i selecció de plataformes i arquitectures per la implementació del marc		Disseny de la plataforma específica
Implementació del Marc d'Interoperabilitat	Desenvolupament dels components i proves	Enginyeria del programari i d'Ontologies	Portal Web del marc: ontologia, procediments d'intercanvi, repositori de models de referència
Ús i manteniment	Execució i control	Tècniques de qualitat	Marc provat i en funcionament, nous requisits i versions

Taula 3.3. Metodologia per a la implementació d'un marc de suport a la interoperabilitat.

3.3.4. Interoperabilitat dirigida per models aplicada al coneixement

En aquest apartat es presenta una de les contribucions considerada a l'àmbit de la interoperabilitat dirigida per models enfocada als sistemes de gestió del coneixement empresarial. En particular es considera l'enfocament MDI per a modelitzar el coneixement empresarial a nivell CIM. En aquest context l'ús de models empresarials que capturen i representen el coneixement i presten suport a la implementació de sistemes de gestió del coneixement és un pas important, atenent que no existeixen enfocaments a nivell CIM centrats en el modelat del coneixement.

3. Propostes per a la millora i mesurament de la interoperabilitat

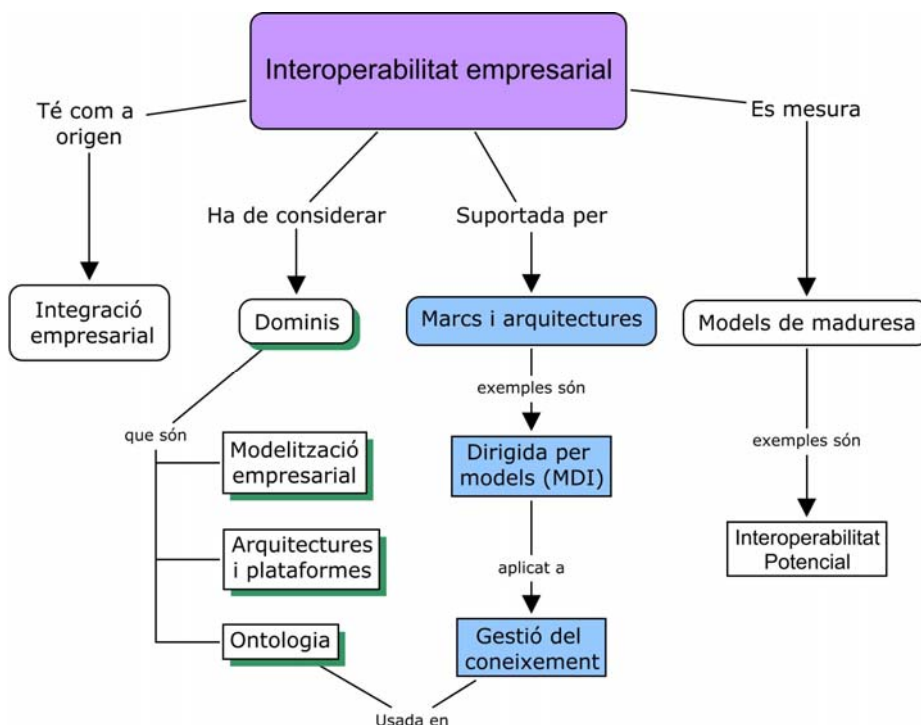


Figura 3.11. Mapa conceptual. Aportacions en MDI aplicat a la modelització del coneixement.

3.3.4.1. Using UML Profiles for Enterprise Knowledge Modelling

Autors: R. Grangel, R. Chalmeta, C. Campos

LLibre: Eleventh International IEEE EDOC Conference Workshop (EDOCW'07)

Editorial: IEEE

Volum:

Pàgines: 125-132

Any: 2007

ISSN: 1541-7719

ISBN : 978-1-4244-4226-3.

UML és un estàndard de facto per a la modelització de sistemes, i és un dels més àmpliament acceptats pels enginyers de programari. Però, per tal de representar altres dimensions de l'empresa es requereix definir perfils que estenen el metamodel estàndard.

Per una altra banda, el coneixement és un dels àmbits empresarials per als quals no es troben propostes de modelització, encara que paradoxalment la modelització empresarial es defineix com l'art d'externalitzar el coneixement (Vernadat, 1996).

Com a millora a aquesta falta de mètodes per a modelitzar el coneixement es desenvolupa una proposta que inclou una extensió d'UML, és a dir un perfil d'UML, el qual permet modelitzar les diferents dimensions empresarials (organització, processos, producte, serveis, recursos, etc.) des de l'enfocament del coneixement empresarial, amb l'objectiu de proporcionar un marc per a compartir coneixement. Aquest objectiu s'assoleix mitjançant l'extensió d'UML i tenint en compte els resultats proporcionats en aquest àmbit per altres treballs com UEML (UEML, 2007) i POP* (Grangel, 2005).

La modelització del coneixement es du a terme en diferents passos: primerament, es representa el coneixement pròpiament dit, en un nivell anomenat CIM-Knowledge i després, l'organització i el sistema empresarial en un segon nivell anomenat CIM-Business. A més a més, la proposta proporciona un marc conceptual que permet les empreses compartir el coneixement, utilitzant el aquest perfil d'UML2 que possibilita la creació dels seus models de coneixement empresarial.

La proposta està formada pels següents components:

- Un metamodel del coneixement empresarial a nivell CIM, així com altres metamodels per representar les altres dimensions de l'empresa com ara la dimensió de processos i de producte.
- Un perfil d'UML2 per a la modelització del coneixement empresarial, incloent una guia de suport per a modelitzar el mapa del coneixement empresarial.

Aquesta proposta s'aplica en un cas real per tal d'avaluar la seua factibilitat i millorar-la. Com a conclusions es pot dir que és necessari aconseguir mètodes de transformació del nivell CIM al PIM i PSM, per a poder obtenir tots els avantatges que l'enginyeria dirigida per models pot proveir al desenvolupament de sistemes de gestió del coneixement. Tanmateix, aquesta proposta comporta un enfocament diferent a l'ús tradicional de la modelització empresarial a l'àmbit dels processos i dels sistemes d'informació, considerant el coneixement com un element on l'ús de l'enfocament dirigit per models aporta noves perspectives i solucions.

3. Propostes per a la millora i mesurament de la interoperabilitat

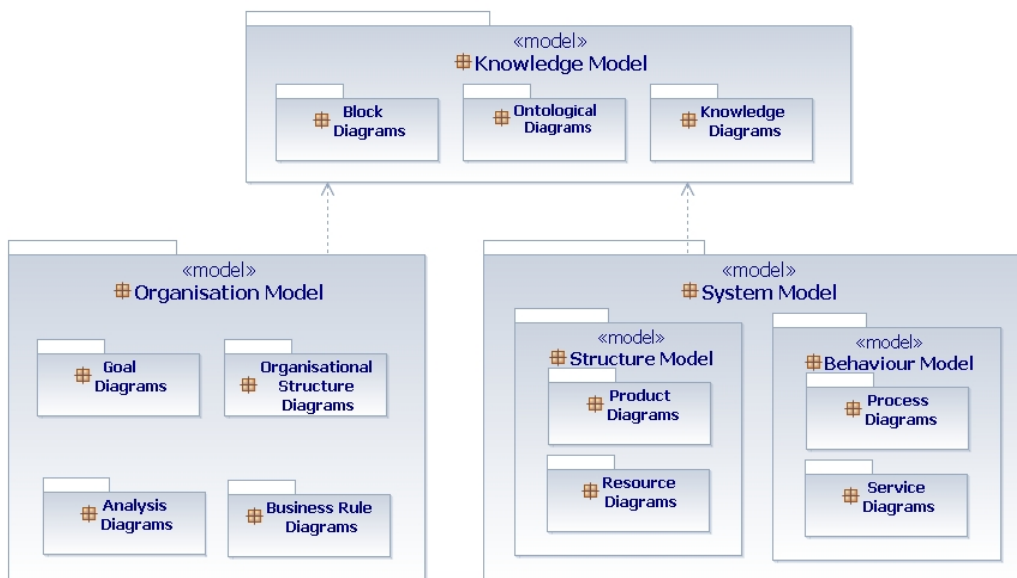


Figura 3.12. Models proposats per a la modelització del coneixement empresarial.

La figura 3.12 mostra l'estructura general dels models que es poden representar seguint aquesta proposta, i que es poden dur a terme per tal de completar el model del coneixement d'una empresa:

- El 'Knowledge Model' (model del coneixement), per a modelitzar el coneixement es pot fer ús de tres tipus de diagrames que són els diagrames de blocs de coneixement, el diagrames ontològics i els diagrames de coneixement.
- El 'Organisational Model' (model organitzacional), que permet representar elements relacionats en la part organitzativa de l'empresa com poden ser els objectius, les decisions, etc.
- El 'System Model' (model del sistema), que correspon als models que es desenvolupen tradicionalment representar els sistemes informàtics de l'empresa.

3.3.5. Interoperabilitat i ontologies empresarials

Els darrers treballs s'ha centrat a l'estudi d'aspectes que milloren la interoperabilitat com són entre altres les ontologies empresarials. Aquest treball és un primer pas per analitzar que és

una ontologia, com es desenvolupa en un cas real i quins beneficis aporta a l'empresa pel que correspon a la interoperabilitat. L'objectiu és arribar a comprendre i transmetre a les empreses com i per a què es pot desenvolupar una ontologia. Per a la qual cosa en aquest treball es presenta una proposta pràctica de desenvolupament d'una ontologia i l'estudi de com aquesta eina pot ser un factor decisiu per assolir la interoperabilitat empresarial.

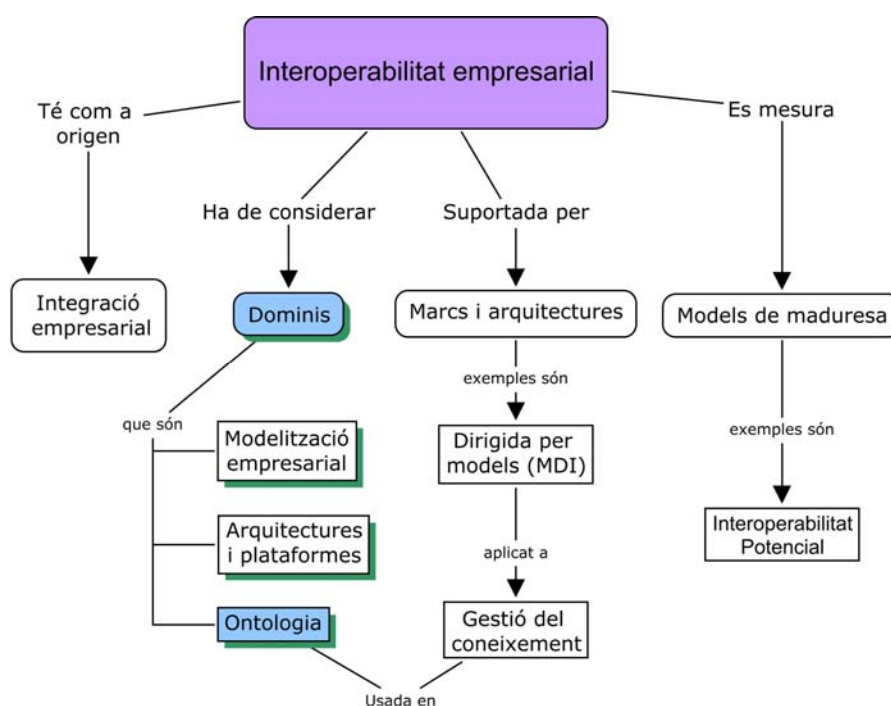


Figura 3.13. Mapa conceptual. Aportacions en ontologies com a suport a la interoperabilitat.

3.3.5.1. An Ontological Solution to Support Interoperability in the Textile

Industry

Autors: A. Duque, C. Campos, E. Jimenez, R. Chalmeta

Revista: Lecture Notes in Business Information Processing (LNBIP) 2nd IFIP WG5.8 Workshop on Enterprise Interoperability (IWEI'2009)

Editorial: Springer Verlag

Volum: 38

Pàgines: 38-51

Any: 2009

ISSN: 1865-1348

ISBN : 978-3-642-04749-7

3. Propostes per a la millora i mesurament de la interoperabilitat

Les ontologies són, tant a l'àmbit d'organitzacions d'empreses com al dels sistemes d'informació i les tecnologies de les comunicacions, un camp d'investigació on s'ha desenvolupat un extens treball. A més a més, es consideren, de manera consensuada en diferents treballs i projectes, un dels dominis bàsics i fonamentals de suport a la interoperabilitat. Però aquesta percepció de les ontologies com una eina bàsica per a la correcta interoperabilitat de les empreses, no és tan certa quan es tracta del món de les empreses reals. Saber que és, i per a què serveix una ontologia, és un aspecte que s'està introduint poc a poc a l'entorn empresarial i a l'àmbit dels sistemes d'informació. Fins i tot, és més clar quan es tracta d'aspectes relacionat amb el web semàntic. Però poques empreses es plantegen incloure en els seus plans estratègics o de sistemes, el desenvolupament o la integració d'una ontologia per a millorar la interoperabilitat empresarial, entre altres aspectes. El principal problema és que, encara que s'han dut a terme nombrosos treballs per crear tesaurus, i s'han proposat com estàndards en diferents sectors, poques empreses coneixen els beneficis de l'ús i com incloure aquests resultats de manera eficient en el seu treball diari. Per això es considera que és molt important dur a terme iniciatives que apropen l'àmbit de la recerca científica en ontologies, on els avanços són considerables, a l'ús pràctic aplicat a les empreses on la visió i el seu ús encara són molt reduïts.

El principal objectiu d'aquest article és mostrar la manera pràctica de desenvolupar una ontologia i fer conscients les empreses de la necessitat d'emprar-ne com a suport a les seues col·laboracions del dia a dia.

Per assolir aquest objectiu, després de revisar diferents propostes de metodologies de desenvolupament d'ontologies, es consideren les fases o passos proposats per la metodologia UPON (Nicola, 2005) per tal de crear una primera versió pràctica d'una ontologia per a una empresa del sector tèxtil.

Els passos seguits en l'aplicació al cas pràctic per al desenvolupament d'aquesta ontologia són:

1. Determinar el domini i l'abast de l'ontologia.
2. Identificar els termes rellevants.
3. Introduir relacions bàsiques entre els termes.

4. Dissenyar i definir els axiomes que caracteritzen termes particulars de l'ontologia pròpia de l'empresa.

Un dels problemes detectats que afecten al poc ús que es fa de les ontologies, i al sector tèxtil en particular, és la falta d'un tesaurus estàndard o taxonomia que recullguen els conceptes rellevants del domini i les relacions bàsiques. És molt important dur a terme iniciatives que formen les empreses i les persones responsables dels àmbits dels sistemes d'informació de com desenvolupar ontologies, del seus beneficis i de com usar-les per a millorar la interoperabilitat empresarial.

3.3.6. Mesurament de la maduresa en interoperabilitat

En aquesta secció es resumeix el darrer treball els resultats del qual s'emmarquen dins de la línia dels models de maduresa. Aquest treball s'ha enviat a avaluació per la revista que es detalla i està pendent de publicació.

La proposta metodològica i l'aplicació pràctica s'han desenvolupat i dut a terme amb la col·laboració de l'empresa on s'ha realitzat l'aplicació pràctica per a validar i millorar el plantejament final. Com s'ha mencionat aquesta proposta considera tots aquells resultats de l'àmbit de la interoperabilitat descrits abans, que són en si part del que s'ha de mesurar quan es tracta de avaluar el grau d'eficiència de les col·laboracions d'una empresa i el grau de preparació per a col·laboracions potencials, és a dir, el que es denomina potencialitat de la interoperabilitat.

Aquesta metodologia correspon a l'activitat 'Mesurar la interoperabilitat' del model IDEF0 representat a la figura 3.2, per a comprendre la proposta desenvolupada s'inclou en al figura 3.15 el diagrama IDEF0 corresponent a al descomposició d'aquesta activitat.

3. Propostes per a la millora i mesurament de la interoperabilitat

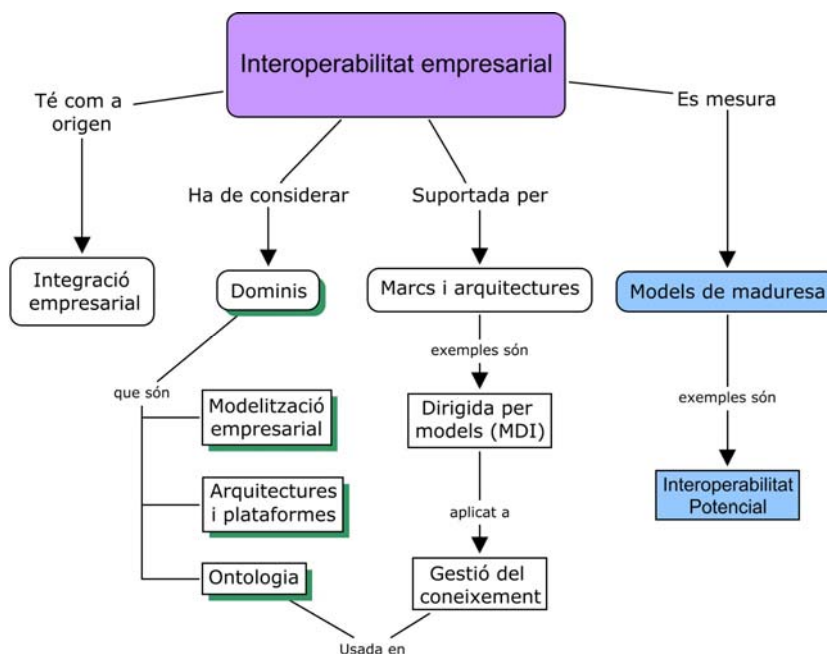


Figura 3.14. Mapa conceptual. Aportacions en mesurament de la maduresa en interoperabilitat.

3.3.6.1. Methodology for Measuring Interoperability Potentiality

Autors: C. Campos, R. Grangel, R. Chalmeta, R. Poler

Revista: En avalució Computers in Industry

Editorial: Elsevier

Volum:

Pàgines:

Any:

ISSN

ISBN

En el context industrial i econòmic actual les empreses necessiten reaccionar de manera ràpida a les noves necessitat i tendències per adaptar-se als requisits del mercats. La col·laboració entre empreses eficient, ràpida i que assoleix la comunicació del processos, la informació i els sistemes de manera fàcil i beneficiosa, és un factor crític que permetrà moltes empreses mantenir la seua competitivitat en períodes de crisi o de recessió econòmica. És a dir, la interoperabilitat és un requisit per a obtenir resultats adequats i superar nous reptes, possibles crisis comercials i decrement dels marges econòmics. El desenvolupament i millora de la interoperabilitat empresarial requereix definir mètriques per a avaluar aspectes que

l'afavoreixen o la limiten. Aquestes mesures s'organitzen en el que es denomina models de maduresa.

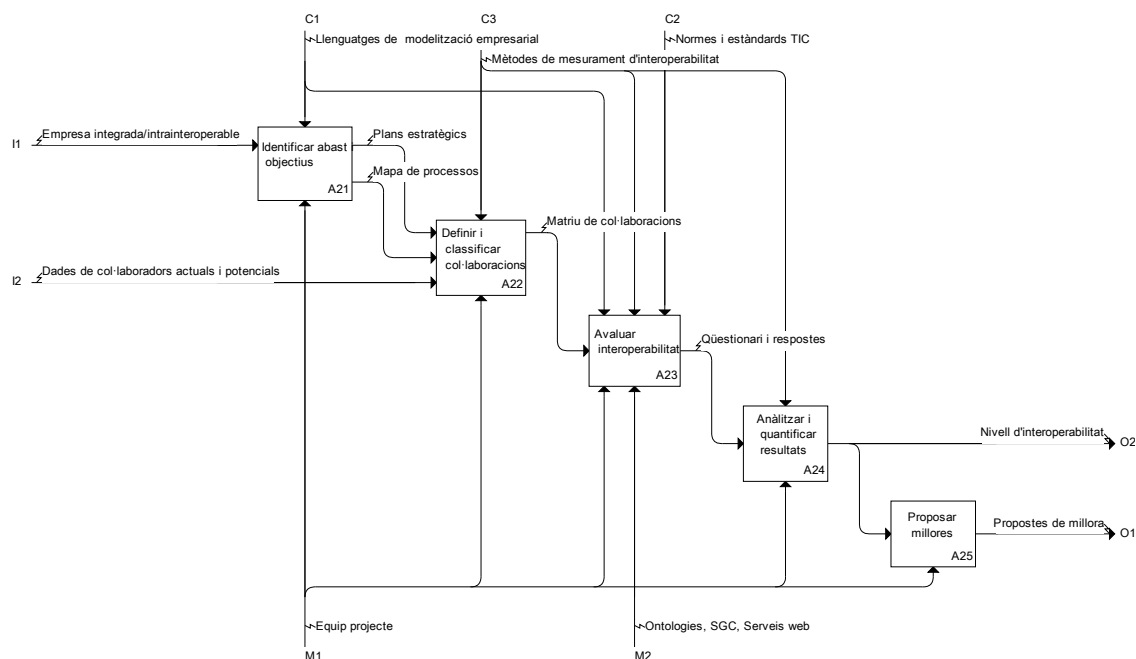


Figura 3.15. Diagrama IDEF0 de l'activitat 'Mesurar interoperabilitat'.

És necessari establir mesures per tal d'identificar quins processos o àrees de l'empresa requereixen millorar o definir projectes de millora per poder dur a terme la interoperabilitat de manera eficient.

Existeixen diferents propostes desenvolupades com a models de maduresa en interoperabilitat, com ara: LISI (Levels of Interoperability Information Systemes) del DoD C4ISR Working Group (Kasunic, 2004); o EIMM (Enterprise Interoperability Maturity Model) d'ATHENA (ATHENA, 2007b). Els models de maduresa proporcionen els nivells i els paràmetres o atributs que cal considerar per a establir el nivell assolit en maduresa en interoperabilitat d'una empresa.

Per una altra part en (Chen, 200) (Guedria, 2009) es defineixen tres tipus d'interoperabilitat, entre els quals es considera la potencialitat de la interoperabilitat. Aquesta correspon a l'avaluació de la preparació o capacitat que té una empresa per a poder establir interoperabilitat amb una tercera no especificada. En aquesta maduresa en potencialitat de la interoperabilitat

3. Propostes per a la millora i mesurament de la interoperabilitat

es proposen certes característiques, però no es defineix una manera guiada i estructurada de com mesurar-la.

En aquesta contribució es proposa mesurar la potencialitat de la interoperabilitat, per a la qual cosa es consideren:

1. **La identificació de les vistes** que es consideren per tal de dur a terme la definició dels paràmetres de mesurament específics. Aquestes vistes que són: la vista de negoci, per a tenir en compte els plans i objectius estratègics de l'empresa; la vista de la gestió del processos; la vista dels recursos humans, que permet considerar aquells aspectes relacionats amb l'estructura organitzativa de l'empresa, la preparació, flexibilitat i formació; la vista de les tecnologies de la informació i les comunicacions; la vista del coneixement i la vista semàntica.
2. Per cadascuna d'aquestes vistes es defineixen un conjunt de **paràmetres** que s'hauran de mesurar convenientment per poder assignar el nivell de maduresa en potencialitat de la interoperabilitat. Aquests paràmetres es mostren a la taula 3.4.
3. Una **proposta metodològica per fases**, en la qual es descriuen les activitats a dur a terme, es proposen tècniques a utilitzar i es defineixen els resultats de cada fase, i que de manera gràfica es detalla a la figura 3.16. La metodologia proposa com a tècnica central per tal d'avaluar la potencialitat de la interoperabilitat el desenvolupament d'un qüestionari, que es defineix de manera específica per a cada procés i col·laboració detectada en una de les fases de la metodologia. Aquest qüestionari es desenvolupa tenint en compte els paràmetres identificats i adaptant-lo específicament a les característiques de l'empresa objecte d'estudi.

Aquesta proposta es completa amb la descripció de l'aplicació pràctica de la metodologia, i el desenvolupament del qüestionari, en una empresa real del sector tèxtil. Aquesta aplicació ha permès avaluar al factibilitat de la metodologia, millorar i depurar el qüestionari i la proposta de paràmetres.

Com a conclusions de l'aplicació de la proposta en l'empresa es dedueix que la metodologia proporciona uns passos clars a seguir i un conjunt de resultats que permeten avaluar amb detall la potencialitat de la interoperabilitat i analitzar diferents aspectes organitzacionals de l'empresa.

3. Propostes per a la millora i mesurament de la interoperabilitat

Vista	Paràmetre
Negoci	Polítiques de sostenibilitat i qualitat, certificats per organismes oficials
	Capacitat i predisposició d'adaptació als canvis organitzacionals, tecnològics i socials.
	Estratègia referent a l'ús de tecnologies com a suport de les col·laboracions amb altres empreses
	Polítiques referents a l'ús d'estàndards tecnològics i d'intercanvi d'informació
	Polítiques (socials, tecnològiques, etc.) d'avaluació de socis potencials prèviament a l'establiment de col·laboracions.
	Polítiques contractuals respecte a col·laboracions amb altres
Gestió de processos	Formalització dels processos: de manera tàcita, documentats, modelitzats, etc.
	Planificació de processos
	Identificació, documentació, ús de llenguatges de modelització per als processos en els quals s'ha identificat col·laboracions amb entitats externes
	Control i mesurament de la qualitat del processos
Recursos humans	Estructura organitzacional (documentació i organització)
	Assignació de tasques i càrrecs (flexibilitat, planificació, documentació)
	Plans de formació
	Assignació de recursos per a la planificació, seguiment de la formació i aprenentatge dels empleats
Coneixement	Coneixement que s'intercanvia i punts d'interacció
	Canals de coneixement
	Existència de sistemes de gestió del coneixement
	Tipus de blocs conceptuals on s'ha identificat el coneixement
	Identificació de les fonts tàcites i explícites del coneixement
	Modelització del coneixement
TIC	Explotació del coneixement mitjançant Sistemes de Gestió del Coneixement (SGC)
	Recursos tecnològics per a les comunicacions
	Sistemes de gestió integrada de la informació
	Planificació de necessitats tecnològiques de suport a les col·laboracions
	Polítiques per al desenvolupament de tecnologies de plataformes independents
	Infraestructures de suport a la gestió de processos interns i de col·laboracions amb altres empreses
	Serveis Web d'ús públic
Semàntica	Bases de dades existents, contextos on operen i existència de correspondències entre aquestes
	Llistes de termes
	Tecnologies (i planificació) de suport a les llistes de termes
	Infraestructures per a donar suport a la gestió de les llistes de termes
	Establiment de correspondències entre les llistes de termes i tesaurus existents en el sector
	Eines de suport a la gestió de termes i de desenvolupament d'ontologies
	Planificació per l'adopció de eines de suport a les ontologies i de formació en el coneixement i ús
Ontologies desenvolupades per a donar suport als webs i processos de col·laboració	

Taula 3.4. Paràmetres definits per a la potencialitat de la interoperabilitat.

El desenvolupament del qüestionari com a tasca central i fonamental de l'avaluació de la maduresa és un treball que ha de ser dut a terme amb col·laboracions estreta del personal

3. Propostes per a la millora i mesurament de la interoperabilitat

qualificat de l'empresa (Palomares, 2010). Els resultats no poden ser només quantitativs, han de tenir en compte altres aspectes que es recopilen a partir de reunions, de qüestions obertes on els gerents poden suggerir necessitats de millora i altres aspectes no detectats amb el qüestionari.

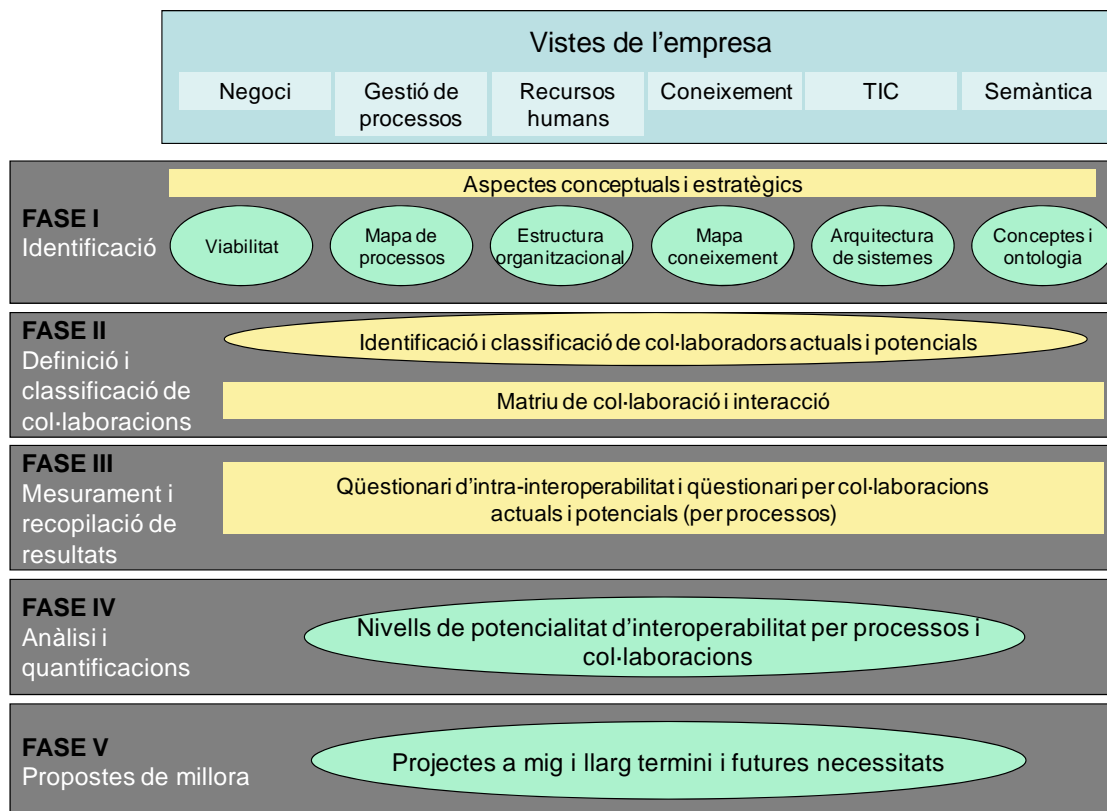


Figura 3.16. Metodologia de mesurament de la potencialitat de la interoperabilitat.

A més a més, d'obtenir una valoració de quin és el seu nivell de maduresa a la potencialitat de la interoperabilitat, i de quins són els aspectes a millorar, l'empresa obté altres beneficis com a resultat de l'aplicació d'aquesta metodologia que són:

- Els responsables dels departaments involucrats milloren el seu coneixement i formació sobre aspectes de la interoperabilitat.
- Una revisió dels processos de negoci, sobretot d'aquells on es col·labora amb entitats externes.

3. Propostes per a la millora i mesurament de la interoperabilitat

- L'empresa ja realitza algunes de les seues col·laboracions de manera eficient, però l'avaluació mitjançant aquest treball els ha permès identificar aspectes a millorar i quines activitats que no es desenvolupaven de manera correcta.
- Definició i classificació de col·laboradors actuals i potencials.
- Definir criteris per a valorar i seleccionar possibles col·laboradors.

4

Conclusions

La interoperabilitat empresarial és un paradigma d'organització de xarxes d'empreses adoptat, cada vegada amb més assiduitat, per a establir col·laboracions. Però aquesta interoperabilitat no és plenament efectiva si no es tenen en compte eines, mètodes adients i les idiosincràsies pròpies de les empreses i del sector industrials al quals pertanyen. A més a més, és necessari tenir en compte que la interoperabilitat és alguna cosa més que la comunicació entre els sistemes informàtics o l'enviament de dades i informació mitjançant Internet.

L'empresa com a sistema inclou diferents aspectes i vistes (de negoci, de processos, de recursos humans, de coneixement, de tecnologies i de semàntica) que s'han de tenir en compte de manera adequada per tal de definir projectes de millora d'interoperabilitat per a assolir els objectius de l'empresa en aquest àmbit.

Quan dues o més empreses inicien el tràmits per posar en marxa un projecte d'interoperabilitat els seus directius estableixen contacte per comunicació verbal, es realitzen intercanvis de documents, es duen a terme reunions, es defineixen polítiques i es signen contractes comercials, legals i fins i tot de confidencialitat. Les empreses han de poder avaluar per una banda, la capacitat dels col·laboradors per a cobrir les expectatives de la interoperabilitat que es va a iniciar i per una altra, la pròpia capacitat d'aconseguir l'èxit amb el nou repte que es plantegen. Una vegada superat aquest primer contacte entren en funcionament els projectes d'enginyeria, d'implantació de nous processos o de millora d'aquells que ja estan en funcionament i requereixen canvis o noves aportacions. És en aquests projectes on la

4. Conclusions

disponibilitat de mètodes i eines adequades i el coneixement sobre el seu ús i la seua aplicació és clau per a aconseguir resultats d'èxit.

Com s'ha mencionat al capítol 2 la interoperabilitat no és un estat al qual s'arriba amb uns certs paràmetres, és un procés de millora continuada i les tècniques existents poden no ser suficients. Per la qual cosa, els resultats que es van proporcionant gràcies a la investigació en aquest camp poden ser adequats en un determinat moment, però han de seguir avançant per anar proveint solucions a mesura que nous reptes i condicions de xarxes de col·laboració hi apareixen o fins i tot, es preveuen que hi puguin aparèixer.

Una altra característica important que comporta la interoperabilitat, tenint en compte la seua definició i àmbit, és que és multidisciplinària, i per tant tècniques provinents de diferents camps de la investigació i la ciència hi tenen cabuda per donar suport a aspectes de qualsevol índole.

4.1. Conclusions sobre les propostes

Les aportacions que es descriuen en aquesta tesi, són multidisciplinàries, enfronten diferents problemes que cal solucionar per a aconseguir la interoperabilitat plena des de diferents punts de vista, però tenint sempre en compte l'entorn on s'emmarca la interoperabilitat, els dominis, les barreres i les àrees d'interès. A més a més, són complementàries a altres resultats d'investigació que ja s'apliquen amb èxit en projectes d'interoperabilitat, i a partir dels quals, en alguns dels casos s'han proposat.

Un dels aspectes fonamentals respecte a les aportacions que es presenten en aquesta tesi és la seua aplicació i anàlisi de resultats en casos reals, la qual cosa té diferents efectes positius. Per una banda, l'aplicació pràctica dels resultats teòrics que es plantegen permet avaluar la seua utilitat, i per una altra, permet millorar aspectes de les propostes que no es poden detectar si no es realitza aquest estudi de casos en empreses reals.

Però aquestes tècniques i mètodes han de seguir avançant per a poder enfrontar-se a nous reptes i situacions que l'entorn empresarial puga requerir. I és en aquest sentit, on s'enfoca l'evolució dels resultats presentats i els nous reptes que es plantegen.

Com s'ha descrit a l'inici del capítol 3, com a pas previ per a establir una adequada interoperabilitat, s'ha d'aconseguir la integració adequada dels processos interns, ja siga

mitjançant mètodes propis d'interoperabilitat o mitjançant la integració plena de l'empresa. En segon lloc, per poder fer interoperables els processos de diferents empreses cal tenir una comprensió i coneixement complets d'aquelles parts dels processos que s'han de connectar. Per a la qual cosa és necessari:

1. **Utilitzar models** que representen de manera no ambigua el funcionament dels processos i eines d'intercanvi de models desenvolupats en diferents llenguatges adaptant-los quan siga necessari mitjançant mètodes de sincronització.
2. Aplicar **paradigmes de generació de programari** que permeten desenvolupar les especificacions del sistema des del punt de vista de la gestió dels processos, a un nivell alt d'abstracció (nivell CIM) i eviten haver de redefinir les especificacions dels sistemes quan s'adopten noves tecnologies o es produeixen canvis tecnològics.
3. **Gestionar el coneixement** de manera adequada utilitzant eines de suport adequades i mètodes que faciliten el seu intercanvi entre empreses que hi col·laboren
4. Usar eines de suport al **desenvolupament d'ontologies** per a aconseguir la comprensió plena i establir la correspondència dels conceptes que s'usen en els processos que hi interoperen.
5. Conèixer, desenvolupar i fer ús adient de **les plataformes tecnològiques** que faciliten i donen suport a la interoperabilitat i aplicar els estàndards de creació de serveis web a l'abast.
6. Avaluar la idoneïtat i la capacitat per a interoperar, tant de l'empresa pròpia com de tercers amb els quals es vol establir la col·laboració, mitjançant **tècniques de mesurament de maduresa**.

Tots aquests mètodes i tècniques han d'estar integrats en metodologies completes i adients, que guien durant el desenvolupament i manteniment de la interoperabilitat empresarial, és a dir en marcs metodològics d'interoperabilitat.

Les propostes incloses en aquesta tesi es poden englobar en una metodologia de mesurament i millora de la interoperabilitat que s'estructura en les següents fases:

1. Mesurament i propostes de millora per a la integració empresarial mitjançant l'aplicació de l'arquitectura de referència descrita a l'apartat 3.3.1.

4. Conclusions

2. Mesurament de la interoperabilitat empresarial, mitjançant l'aplicació de la metodologia descrita a l'apartat 3.3.6, i que té en compte l'ús de la modelització empresarial, i els requisits per a la sincronització de models descrits a l'apartat 3.3.2, l'ús d'ontologies descrit a l'apartat 3.3.5 (Duque, 2009) i l'ús de sistemes de gestió del coneixement.
3. Definició de propostes de millora, entre les quals es pot incloure el desenvolupament d'una plataforma de suport a la interoperabilitat descrita a l'apartat 3.3.3.

4.2. Evolució del concepte d'interoperabilitat empresarial

L'evolució de la investigació en el camp de la interoperabilitat s'ha d'enfocar cap a nous reptes, tal com recomana el nou Future Internet Enterprise Systems Cluster (FInES) (CORDIS, 2009a), que s'ha creat com a evolució dels anteriors grups Enterprise Interoperability (EI) i Digital Ecosystems (CORDIS, 2008). En el seu document de definició d'objectius *Position Paper* (CORDIS, 2009b) es fa èmfasi en la idea de que estan emergint nous paradigmes d'empreses i de xarxes d'empreses. Es suggereixen diverses línies d'investigació que tenen en compte aspectes culturals, de sostenibilitat, de la gestió adequada de l'energia o del medi ambient.

La crisi financera en la qual està envoltada la indústria d'arreu del món fa pensar en noves necessitats d'aliances i estructures empresarials per tal de poder superar la situació econòmica que comporta la baixada dels mercats i dels beneficis. Els moments crítics són també bons moments per tal de dur a terme canvis i noves polítiques que permeten evolucionar o emprar nous models de negocis o estratègies. La indústria en general ha de considerar no només millorar les seues col·laboracions amb el suport de noves tecnologies i mètodes, sinó també aprofitar per tal d'incorporar altres aspectes com ara la sostenibilitat o la bona gestió de l'energia i del medi ambient.

Les xarxes de col·laboració entre empreses eficients (i per tant, la interoperabilitat entre empreses) s'han de considerar com la força que pot conduir els canvis necessaris per tal de millorar la situació econòmica actual, ja que entre altres aquests col·laboracions tenen com avantatges:

- L'aparició de noves oportunitats de mercat.
- Obertura a nous mercats gràcies el coneixement específic de cada soci individual.

- Aliances entre socis complementàries.
- Reducció de costos mitjançant activitats que es desenvolupen de manera conjunta i per l'increment de la producció.
- Disminució dels cicles de producció.

Pel que fa a la evolució del concepte d'interoperabilitat empresarial, es defineixen dos àmbits cap on s'orienten els esforços en investigació. Per una banda els grups que proposen continuar la investigació en interoperabilitat empresarial mitjançant l'ampliació i millora dels marcs i propostes existents. Per una altra banda, hi ha grups que argüeixen la necessitat de nous reptes i perspectives en interoperabilitat i l'impacte associat en els sistemes empresarials.

4.3. Nous reptes i evolució del treball

Pel que fa a la continuïtat dels treballs d'investigació recollits en aquesta tesi, existeixen diferents fronts oberts cap on es poden adreçar els objectius de la investigació en un futur:

- El coneixement es considera com un valor fonamental de les empreses i és un atribut a explotar per tal d'aconseguir avantatges davant de possibles nous reptes. Poder compartir, amprar i explotar el coneixement de diferents socis que interoperen és un factor que afavoreix l'èxit de la interoperabilitat. Per tant resulta interessant seguir evolucionant en treballs que proporcionen mecanismes i eines útils per a una correcta gestió del coneixement entre empreses aplicant principis de modelització i eines que ajuden a portar a terme l'intercanvi de manera adequada, eficient i amb seguretat.
- Mesurar la situació i la capacitat d'una empresa per a interoperar, és a dir el nivell de maduresa en interoperabilitat, és el punt de partida que permet definir propostes de millora o simplement avaluar la idoneïtat d'una col·laboració, o la viabilitat d'un nou projecte. En aquest àmbit un dels objectius que es planteja és integrar aquesta la proposta metodològica en un marc d'interoperabilitat més ampli, incloent-hi aspectes relacionats amb la responsabilitat social, el consum energètic eficient i la repercussió en el medi ambient, tal com es recomana des de les directrius de la Comunitat Europea (CORDIS, 2009).

Glossari

Axioma, proposició admesa sense demostració com a punt de partença d'una teoria o ciència.

Browser, és el terme que s'utilitza per a denominar un navegador o navegador web (de l'anglès, *web browser*). És un programa que permet visualitzar la informació que conté una pàgina web.

B2B, es llegeix com *Business to (2) Business* i fa referència als sistemes informatitzats que connecten amb altres sistemes informatitzats per a dur a terme negocis entre empreses.

Cadena de valor, o cadena de valor empresarial, és un model teòric que permet descriure el desenvolupament de les activitats d'una organització empresarial que generen valor al client final. Va ser descrita i popularitzada per Michael E. Porter en *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance* (Porter, 1985).

Cluster, organització temporal que agrupa la gestió de diversos projectes o altres organitzacions amb una temàtica comuna. A l'àmbit dels marcs d'investigació de la Unió Europea, són el vehicle que permet concertar el funcionament de diferents projectes per tal d'aconseguir assolir l'objectiu global a partir dels resultats dels projectes individuals, contribuint al consens

Empresa Virtual, xarxa d'empreses independents, a vegades competidores entre si, que constitueixen una aliança temporal amb l'objectiu de desenvolupar un producte o oferir un servei, de manera que poden prendre avantatges de noves oportunitats de mercat i ho aconsegueixen compartint recursos i costos (Browne, 1999).

Lògica de primer ordre, també denominada lògica de predicats o proposicional, representa fets del món. Descriu un món que consta d'objectes, propietats (o predicats) i relacions d'aquests objectes (Sowa, 2000).

Metallenguatge, a l'àmbit dels llenguatges de modelització és un model, habitualment expressat al mateix temps en un llenguatge de modelització conegut, que defineix els constructors, la semàntica i la sintaxi d'un altre llenguatge.

Mapa conceptual, és un artefacte o model gràfic per a l'organització i representació del coneixement. L'objectiu és representar relacions entre conceptes en forma de proposicions de manera gràfica.

Mapa de processos, representació gràfica del flux de treball d'una empresa, que pot ser desenvolupat tenint en compte diferents punts de vista i de manera jeràrquica.

Perfil UML, extensió que es pot realitzar sobre el llenguatge de modelització UML amb la finalitat de modelitzar un context determinat o específic (Fuentes, 2004).

Repositori, és un dipòsit o arxiu, un lloc centralitzat on s'emmagatzema i manté informació digital, habitualment bases de dades o arxius informàtics. L'origen de la paraula deriva del llatí 'repositorium', que significava armari, rebost.

Roadmap, pla on es defineixen les accions que s'han de dur a terme en un horitzó temporal per tancar deficiències identificades en algun context.

Taxonomia, tractament genèric de les classificacions, a l'àmbit de les ontologies, classificacions dels termes.

Tesaurus en ciències de la informació, és una llista que conté els termes empleats per a representar els conceptes, temes o continguts de documents, amb l'objectiu d'efectuar una normalització terminològica. Llista alfabètica de mots utilitzats per a classificar la documentació.

Tutorial, curs breu sobre qualsevol matèria.

Bibliografía

- Agedal, J. Ø., Bezivin, J., Linington P. F. (2005). Model-Driven Development. In J. Malenfant and B. M. Ostvold, editors, ECOOP 2004 Workshop Reader, volume 3344 of LNCS, pages 48–157. Springer, Heidelberg.
- AG IDS Scheer. (2005). *Enterprise Architectures and ARIS Process Platform, White Paper*. Technical report, IDS Scheer AG, March 2005.
- AGIIF (2006). *The Australian Government Information Interoperability Framework*. Department of Finance and Deregulation. 15/02/2010 http://www.finance.gov.au/publications/australian-government-information-interoperability-framework/docs/Information_Interoperability_Framework.pdf.
- Aguilar-Saven. (2004). R. S. *Business Process Modelling: Review and Framework*. International Journal of Production Economics, 90(2):129–149, 2004.
- Ahern, M., Clouse, A. Turner, R. (2004). CMMI Distilled. A Practical Introduction to Integrated Process Improvement. SEI Series. Addison Wesley, 2004.
- Alonso, A., Guijarro B., Lozano A., Palma J. T., Taboada Ma. J. (2004). Ingeniería del Conocimiento. Aspectos Metodológicos. Pearson Prentice Hall.
- AMICE. ESPRIT Consortium (1991). CIMOSA: Open System Architecture for CIM. Springer-Verlag.
- ATHENA. (2007a). *Advanced Technologies for interoperability of Heterogeneous Enterprise Networks and their Applications*. IP (IST-2001-507849). 15/02/2010 http://interop-vlab.eu/ei_public_deliverables/athena-deliverables.
- ATHENA (2007b). Deliverable DA4.2 *Specification of Interoperability Framework and Profiles, Guidelines and Best Practices*. Work Package – A4.2.
- Baskerville, R., Myers, M.D. (2004). *Special issue on action research in information systems: making IS research relevant to practice—foreword*. MIS Quarterly Vol. 28 No. 3, pp. 329-335/September 2004.
- Benguria, G., Santos, I. (2008). *SME Maturity, Requirement for Interoperability*. Enterprise Interoperability III. Pp. 29-40. 2008.

Bibliografia

- Berio, G., Vernadat, F. B. (1999). New developments in enterprise modelling using CIMOSA. *Computers in Industry*, 40(2-3). pags:99–114.
- Bernus, P., Nemes, L. Williams, T.J. (1996). *Architectures for Enterprise Integration*. Chapman & Hall, 1996.
- Bernus, P., Mertins, K., Schmidt, G. (1998). *Handbook of Information Architectures*. Springer-Verlag.
- Berre, A.J., Hahn, A., Akehurst, D. Bezivin, J., Tsalgaidou, A., Vermaut, F. et al. (2004). *Deliverable D9.1. State-of-the art for Interoperability architecture approaches, Model driven and dynamic, federated enterprise interoperability architectures and interoperability for non-functional aspects*. Technical report, INTEROP NoE (IST-2003-508011). 15/02/2010 http://interop-vlab.eu/ei_public_deliverables/interop-noe-deliverables.
- Berre, A.-J., Elvesaeter, B., Fgay, N., Guglielmina, C., Johnsen, S., Karlse, D., et al. (2007). *The ATHENA Interoperability Framework*. In *Enterprise Interoperability II*. Funchal, Portugal: Springer.
- Boehm, B., Wolf, S. (1996). *An open architecture for software process asset reuse*. ISPW'96, 10th International Software Process Workshop pp.2.
- Booch, G., Rumbaugh, J., Jacobson, I. (2006). *The Unified Modeling Language User Guide, Second Edition*. Addison Wesley.
- Bourey, J.P., Grangel, R., Doumeingts, G., Berre, A. J. (2007) *Deliverable DTG2.3. Report on Model Driven Interoperability*. Technical report, INTEROP NoE (IST-2003-508011) TG2, 2007. 15/02/2010 http://interop-vlab.eu/ei_public_deliverables/interop-noe-deliverables.
- BPMI (2007). *Business Process Modelling*. 15/02/2010 <http://www.bpmi.org>.
- BPMI (2010). *Business Process Modelling Supporters*. 15/12/200. http://www.bpmn.org/BPMN_Supporters.htm#current.
- Britannica (2009). *The Online British Encyclopedia*. 15/02/2010 <http://www.britannica.com/>.
- Browne, J., Zhang, J (1999). *Extended and virtual enterprises – similaritie and differences*. *International Journal of Agile amnagemetn Systems* 1/1 pps: 30-36.
- Burkel, J. (1991). *Applying CIM for competitive advantage*. In: *Proceedings of Autofact'91*. Chicago.
- Candlot, A., Perry N., Bernard, A., Ammar Khodja, S. *Deployment of an Innovative Resource Choice Method for Process Planning*, CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Florianapolis, (Brasil).
- Campos, C., Jaekel, F-W., Perry, N. (2005). *DTG1.1 Report on Generic Approaches and SDDEM Life Cycle Model*. INTEROP Public Deliverables 15/02/2010 http://interop-vlab.eu/ei_public_deliverables/interop-noe-deliverables/tg1-synchronisation-of-models-for-interoperability-sddem.
- Campos, C., Dassisti, M., Jaekel, F-W., Perry, N., Scorzello, F. (2006a) *DTG1.2 Model based Analysis across Enterprises*. INTEROP Public Deliverables 15/02/2010 http://interop-vlab.eu/ei_public_deliverables/interop-noe-deliverables/tg1-synchronisation-of-models-for-interoperability-sddem.

- Campos, C., Grangel, R., Chalmeta, R. (2006b). *Requirements to Improve the Synchronisation of Inter-enterprise Models*. In C. Bussler and A. Haller, editors, BPM 2005, volume 3812 of LNCS, pp. 353–362. Springer, Heidelberg.
- Campos, C., Martí, I., Grangel, R., Mascherpa, A. Chalmeta, R. (2008). *A Methodological Proposal for the Development of an Interoperability Framework*. Model Driven Interoperability for Sustainable Information Systems (MDISIS'08) (CAISE'08). CEUR-WS, 2008, Vol. 340, pp. 47-57.
- Chalmeta, R., Campos, C., Grangel, R. (2001). *References architectures for enterprise integration*. The Journal of Systems and Software, 57(3):175–191, July 2001. Elsevier.
- Chalmeta R., Grangel. R. (2003a). *ARDIN extension for virtual enterprise integration*. The Journal of Systems and Software, 67(3):141–152, September 2003. Elsevier.
- Chalmeta R., Grangel. R., Ortiz, A. Poler, R. (2003b) *Virtual Integration of the Tile Industry (VITI)*. ER (Workshops) 2003: 65-76.
- Chalmeta, R., Grangel, R. (2005). *Performance measurement systems for virtual enterprise integration*. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 18(1):73–84, January-February 2005. Taylor & Francis.
- Chalmeta, R., Grangel, R. (2008). *Methodology for the Implementation of Knowledge Management Systems*. Journal of The American Society for Information Science and Technology. ISSN. 1532-2882. Vol. 59. Issue 5. p. 742-755. 2008.
- Chen D., Vernadat, F. (2002). *Deliverable .1 Knowledge Corpus. Enterprise Interoperability: A standardisation View, Enterprise Inter-and-Intra Organisational Integration*, Eds. K. Kosanke et al., Kluwer Academic Publishers, October 2002, pp. 273-282. 15/02/2010 http://interop-vlab.eu/ei_public_deliverables/interop-noe-deliverables/di-domain-interopability/di1b.
- Chen D., Doumeingts G. (2003). *European initiatives to develop interoperability of enterprise applications—basic concepts, framework and roadmap*. Annual Reviews in Control, 27(2) pps. 153–162.
- Chen, D., Daclin, N. (2007). *Barriers Driven Methodology for Enterprise Interoperability. Establishing The Foundation Of Collaborative Networks* Pages 453-460 Volume 243/2007. Springer Boston.
- Chen D., Doumeingts, G., Vernadat, F. (2008a). *Arquitectures for enterprise integration and Interoperability. Past presetrn and future*. Computers in industry 59. pp. 647-659. Elsevier.
- Chen, D., Vallespir, B. & Daclin, N. (2008b). *An Approach for Enterprise Interoperability Measurement. Model Driven Information Systems Engineering: Enterprise, User and System Models*. pp. 1-12.
- Clark, T. & Jones, R. (1999). *Organisational Interoperability Maturity Model for C2*. Command and Control Research And Technology Symposium (CCRTS).
- CORDIS (2006). *Enterprise Interoperability Research Roadmap*. Version 4.0. July 2006 Eds. Man-Sze Li, Ricardo Cabral, Guy Doumeingts, Keith Popplewell. CORDIS. 15/02/2010 http://cordis.europa.eu/ist/ict-ent-net/ei-roadmap_en.htm.

Bibliografia

- CORDIS (2009). Community Research and Development Information Service. 15/02/2010 http://cordis.europa.eu/fp7/ict/enet/ej_en.html.
- C4ISR (1997). Architecture Working Group. *Architecture framework V. 2.0*. 15/02/2010 <http://www.afcea.org/education/courses/archfwk2.pdf>.
- Dick, B., Stringer, E., Huxham, C. (2009). *Theory in action research*. Action Research, Mar 2009; vol. 7: pp. 5-12.
- DIP (2006) *DIP-Data, Information, and Process Integration with Semantic Web Services*. 15/02/2010. <http://Dip.semanticweb.org/documents/Synopsis-DIP-Project-1Dec2006.doc>.
- Doumeingts, G., Vallespir, B., Chen, D. (1988). *International Handbook on Information Systems*, chapter Decisional modelling GRAI grid, pp. 313–337. Springer-Verlag, 1998.
- Doumeingts, G., Vallespir, B., Zanittin, M., Chen, D. (1992). *GIM-GRAI Integrated Methodology, a Methodology for Designing CIM Systems, Version 1.0*. LAP/GRAI, University Bordeaux 1, Bordeaux, France.
- Doumeingts, G. & Chen, D. (2003) *Basic Concepts and Approaches to Develop Interoperability of Enterprise Applications*. Camarinha-Matos, L. M. & Afsarmanesh, H. (ed.). PRO-VE Kluwer, Vol. 262, pp. 323-330.
- Dretske, F.I. (1981). *Knowledge and the Flow Of Information*. Cambridge, MA.MIT Press, 1981.
- Ducq, Y., Chen, d., Vallespir, B. (2003). *Interoperability in enterprise modelling: requirements and roadmap*. *Advanced Engineering Informatics*, 18(4) pp.193–203.
- Dymond K. M. (1995). *A guide to the CMM, Understanding the capability maturity model for software*. Process Inc US.
- ECMA (2008). European International. European association for standardizing information and communication systems. 15/02/2010 <http://www.ecma-international.org/>.
- EIF (2004). *European Interoperability Framework. -ICT Industry Recommendations-* http://www.softwarechoice.org/download_files/Interop.pdf 15/02/2010.
- EIC (2008). Enterprise Interoperability Center. 15/02/2010 <http://www.eic-community.org/>
- Elvesæter, B., Hahn, A., Berre, A.J., Neple, T. (2005) *Towards an Interoperability Framework for Model-Driven Development of Software Systems*. In 1st Int. Conf. on Interoperability of ESA (I-ESA'05), 2005.
- Ford, T.C., Colombi, J.M., Graham, S.M., Jacques, D.R. (2007). *A Survey on Interoperability Measurement*. 12th ICCRTS International Command and Control Research and Technology Symposium. "Adapting C2 to the 21st Century". June 2007. http://www.dodccrp.org/html4/events_past.html.
- Fuentes, L., Vallecillo, A. (2004). *Una introducción a los perfiles UML*. *Novática*, marzo-abril (168), pp. 6-11.
- GEC (2000) *Gran Enciclopèdia Catalana*. Edicions 62. Barcelona.
- Gong, R., Li, Q., Ning, K., Chen, Y. O'Sullivan, D. (2006) *Business Process Collaboration Using Semantic Interoperability: Review and Framework*. *The Semantic Web – ASWC 2006*. LNCS 4185, pp. 191-204. Springer-Verlag. Berlin.

- Gottschalk, P. (2009). *Maturity Levels for Interoperability in Digital Government*. Government Information Quarterly, Vol. 26 Issue 1, pp. 75-81.
- Grangel, R., Chalmeta, R. (2004). *Methodology for the development of a sectoral standard for EDI*. In S. Wang, K. Tanaka, and S. Zhou, editors, *Conceptual Modeling for Advanced Application Domains*, volume 3289 of LNCS, pp. 641–652. Springer, Heidelberg.
- Grangel, R., Chalmeta, R., Schuster, S., Peña, I. (2005). *Exchange of Business Process Models Using the POP* Meta-model*. Business Process Management Workshops 2005, pp. 233-244.
- Grangel, R., Chalmeta, R. (2005a). A Methodological Approach for Enterprise Modelling of Small and Medium Virtual Enterprises based on UML. Application to a Tile Virtual Enterprise. In Doctoral Symposium at 1st Int. Conf. on Interoperability of ESA (I-ESA'2005).
- Grangel, R., Ben-Salem, R., Bourey, J-P., Daclin, N., Ducq, Y. (2007a). *Transforming GRAI Models into UML Models, a First Step to Model Driven Interoperability*. In R. J. Gonçalves, J. P. Müller, K. Mertins, and M. Zelm, editors, *Enterprise Interoperability II. New Challenges and Approaches*, pp. 447–458. Springer, London.
- Grangel, R., Bourey, J-P., Berre A.J.(2007b). *Solving Problems in the Parameterisation of ERPs using a Model-Driven Approach*. In G. Doumeingts, J. Müller, G. Morel, and B. Vallespir, editors, *Enterprise Interoperability. New Challenges and Approaches*, pp. 103–114. Springer, London.
- Grangel, R., Chalmeta, R., Campos, C. (2007c). *Requirements for Establishing a Conceptual Knowledge Framework in Virtual Enterprises*. In W. Abramowicz and H. C. Mayr, editors, *Technologies for Business Information Systems*, pp. 159–172. Springer.
- Gruber, T.R. (1993a) *A translation approach to portable ontology specifications*. Knowledge Acquisition. 5(2), pp. 199-220.
- Gruber, T.R. (1993b). *Towards Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing*. *Ontology in Conceptual Analysis and Knowledge Representation*. N. Guarino and R. Poli (eds.).
- Guédria, W. Chen, D., Naudet, Y. (2009) *A Maturity Model for Enterprise Interoperability*. R.Meersman, P. Herrero and T. Dillon (Eds): OTM 2009 Workshops., LNCS 5872, pp. 216-225.Springer Verlag.
- Guijarro L. (2007) *Interoperability frameworks and enterprise architectures in e-government initiatives in Europe and the United States*. Government Information Quarterly, Volume 24, Issue 1, pp. 89-101.
- IDEAS (2002). *Deliverable D1.1. State of the Art - Introduction*. Technical report, IDEAS (IST-2001-37368) WP1. Anastasiou. M. et al.
- IDEAS (2006). *Interoperability Development for Enterprise Application and Software Project (IST-2001-37368)* <http://cordis.europa.eu/fp5/home.html>, 2006.
- IDEF (2007). *Integrated DEFinition methods*. 15/02/2010 <http://www.idef.com>.
- IEM (2003). *Business process oriented knowledge management*. In K. Mertins, P. Heisig, and J. Vorbeck, editors, *Knowledge Management. Concepts and Best Practices*. Springer-Verlag.

Bibliografia

- IEEE (1990). Institute of Electrical and Electronics Engineers. Standard Computer Dictionary: A Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries. Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- IFIP-IFAC (1999). GERAM Generalised enterprise reference architecture and methodology. Technical Report Version 1.6.3. 15/02/2010 <http://hobbit.ict.griffith.edu.au/~bernus/taskforce/geram/versions/geram1-6-3/v1.6.3.html>.
- INTEROP (2003). Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software NoE (IST-2003-508011). 15/02/2010 http://interop-vlab.eu/ei_public_deliverables.
- INTEROP V-lab (2008). The International Virtual Laboratori for Enterprise Interoperability. 15/02/2010 <http://interop-vlab.eu/>.
- IST (2001). IST-2001-37368. Thematic network, IDEAS: Interoperability development for enterprise application and software—Roadmaps, description of work, May 13, 2002.
- Jacobson, I., Booch, G., Rumbaugh, J. (2000) The Unified Software Development Process. Addison-Wesley.
- Jaekel, F.-W., Perry, N., Campos, C., Mertins, K. & Chalmeta, R. (2005). *Interoperability Supported by Enterprise Modelling*. Lecture Notes in Computer Science. On the Move to Meaningful Internet Systems 2005: OTM Workshops, Vol. 3762/2005, pp. 552-561.
- Jaekel, F.-W., Campos, C., Perry, N., Goossenaerts, J. (2007). *DTG1.3 Portal concept for modelling accross organisation*. INTEROP Public Deliverables 15/02/2010 http://interop-vlab.eu/ei_public_deliverables/interop-noe-deliverables/tg1-synchronisation-of-models-for-interoperability-sddem.
- Kasunic, M., Anderson, W. (2004). *Measuring Systems Interoperability: Challenges and Opportunities*. Carnegie Mellon University and Software Institute.
- Kosanke, K., Nell, J.G. (1999). *Standardisation in ISO for enterprise engineering and intergration*. Computers in industry, 40, pp. 311-319.
- LAP/GRAI (2007).GraiTools. 15/02/2010 <http://www.graisoft.com>.
- Mcguinness, D. L. (2003). Ontologies Come of Age. The Semantic Web: Why, What, and How. MIT Press.
- Missikoff, M. (2001). *Business and Enterprise Ontologies: Systems, Methods, and Experiences*. In Int. Workshop on OES-SEO 2001.
- Missikoff M. et al. (2004). *Deliverable D8.1. Ontology-Based Integration and Interoperability of Enterprise Modelling, Architectures and Platforms: State of the Art and State of the Practice*. Technical report, INTEROP NoE (IST-2003-508011) WP8. 15/02/2010 http://interop-vlab.eu/ei_public_deliverables.
- NIST (2007). *Process Specification Language (PSL)*. National Isntitute of Standards and tecnology. 15/02/2010 <http://www.mel.nist.gov/psl/>.
- OASIS (2009). Organisation for the Advancement of Structured Information Standards. 15/02/2010 <http://www.oasis-open.org/home/index.php>.

- O'Brien, R. (1998) *An overview of the methodological Approach of Action Research*. In Roberto Richardson (Ed.), *Theory and Practice of Action Research*. João Pessoa, Brazil: Universidade Federal da Paraíba. (English version). 15/02/2010: <http://www.web.ca/~robrien/papers/arfinal.html>.
- Obrst, L. (2003). *Ontologies for semantically interoperable systems*. In CIKM'03, pp. 366-369.
- OMG (2001). *Model Driven Architecture (MDA)*, Architecture Board ORMSC, document number: ormsc/2001-07-01 edition, July 2001.
- OMG (2003). *MDA Guide Version 1.0.1*, document number: omg/2003-06-01 edition, June 2003.
- OMG (2005). *A proposal for an MDA Foundation Model*, document number: ormsc/2005-04-01 edition, April 2005.
- OMG (2007a). Object management group. 15/02/2010 <http://www.omg.org/>.
- OMG (2007b). *Unified Modeling Language: Infrastructure*, version 2.1.1 formal/07-02-05 edition, February 2007.
- OMG (2007c). *Unified Modeling Language: Superstructure*, version 2.1.1 formal/07-02-05 edition, February 2007.
- OMG (2009a). OMA OMG's Object Management Architecture (OMA). OMG. 12/15/2009 <http://www.omg.org/gettingstarted/specintro.htm#OMA>.
- OMG (2009b). *Interoperability Pledge*. OMG. 12/15/2009 http://www.omg.org/interoperability_pledge.htm.
- OWL (2004). *Web Ontology Language*. W3C. 15/02/2010 <http://www.w3.org/2004/OWL/>.
- Palomares, N. Campos, C. Palomero, S. *How to develop a questionnaire in order to measure interoperability levels in enterprises*. I-ESA 2010 The International Conference on Interoperability for Enterprise Software and Applications. pp.387-398.
- Papazoglou, M.P. (2008). *Web Services: Principles and Technology*. Pearson Education Limited. Edinbourg Gate, England.
- Pardo, T.A. & Burke, G.B. (2008) *Improving Government Interoperability: A Capability Framework for Government Managers*. The Research Foundation of State University of New York.
- Pastor, O. Gomez, J., Insfran, E., Pelechano, V. (2001). *The OO-method approach for information systems modeling: from object-oriented conceptual modeling to automated programming*. Information Systems, 26(7), pp. 507-534.
- Perry, N., Mauchand, M., Bernard, A. (2005) *Integration of Cost Models in Design and Manufacturing*. Advances in Design, Springer Series in Advanced Manufacturing. H. EIMaraghy and W. EIMaraghy (eds).
- Porter, M.E. (1985). *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. New York. Free Press; London: Collier Macmillan, cop.
- Pressman, R.S. (2005). *Software engineering: a practitioner's approach*. Boston. McGraw Hill.
- RDF (2007). *RDF Primer-Turtle version*. Note in Development W3C. 15/02/2010 <http://www.w3.org/2007/02/turtle/primer/>.

Bibliografía

- Scheer A.W. (1999). ARIS, Business Process Framework. 3rd edition-Berlin.
- Sommar, R., Campos, C., Grangel, R., Söderström, E., Ruohomaa, S., Poler, R., et al. (2006) *DGI.1 Proposal of collaboration means in research on gender issue*. INTEROP Public Deliverables 15/02/2010 http://interop-vlab.eu/ei_public_deliverables/interop-noe-deliverables/gender-action-plan.
- Sommar, R., Campos, C., Grangel, R., Söderström, E., Pantelopoulos, S. (2007) *DGI.2 DGI.2 Collection of real cases on best practices for solving gender problems*.15/02/2010 http://interop-vlab.eu/ei_public_deliverables/interop-noe-deliverables/gender-action-plan.
- Sommerville, I. (2005). Ingeniería del Software 5^a edición-. Addison Wesley.
- Sowa J.F. (2007). Glossary. 15/02/2010 <http://www.jfsowa.com/ontology/gloss.htm>.
- SPIDER-WIN (2005). *SupPly Information Dynamic Exchange and ContRol by Web-based Interaction Network*. 15/02/2010 <http://www.spider-win.de/spider-win.htm>.
- Spieger, I. (2003). *Technology and Knowledge: bridging a 'generating' gap*. Information and management, 40. pp. 533-539.
- TOGAF The Open Group (2002). *The Open Group Architectural Framework (TOGAF) Version 8 Enterprise Edition*.
- TOVE Project (2007). TOVE. 15/02/2010 <http://www.eil.utoronto.ca/enterprise-modelling/tove>.
- UEML (2007). Unified Enterprise Modelling Language Thematic Network (IST-2001-34229). 15/02/2010 <http://www.ueml.org>.
- Uschold, M., King, M., Moralee, S., Zorgios, Y. *The enterprise Ontology*. Knowledge Engineering Review, 13(1), pp. 31-89.
- Vernadat, F.B.(1996). *Enterprise Modeling and Integration: Principles and Applications*. Chapman and Hall.
- Vernadat, F.B. (2000). *Enterprise Modeling and Integration: Myth or reality?* In Proc. of the 2nd Int. Conf. on Management and Control of Production and Logistics (MCPL'2000), July 2000. Plenary talk.
- Vernadat, F.B. (2002). *Enterprise modeling and integration (EMI): Current status and research perspectives*. Annual Reviews in Control, 26(1), pp. 15–25.
- Vernadat, F.B. (2007) *Interoperable Enterprise Systems: Principles, Concepts, and Methods*. Anual Reviews in Control, 2007, Vol. 31, pp. 137-145.
- Williams, T. (1993). *The Purdue Enterprise Reference Architecture*. In Elsevier, editor, Proc. of the Workshop on Design of Information Infrastructure Systems for Manufacturing, November 1993.
- W3C (1994). The World Wide Web Consortium. 15/02/2010 <http://www.w3.org/Consortium/>.
- W3C (2001). *Semantic Web Activity*. The World Wide Web Consortium. 15/02/2010 <http://www.w3.org/2001/sw/>.
- W3C (2009). *Consortium Points*. The World Wide Web Consortium. 15/02/2010 <http://www.w3.org/Consortium/Points/>

- WS-I (2009). Web Services Interoperability Organisation.
15/02/2010 <http://www.ws-i.org/deliverables/matrix.aspx>.
- Zachman, J.A. (1987). *A Framework for Information Systems Architecture*. IBM Systems Journal, 26(3).
- Zachman, J.A. (2003). *The Zachman Framework: A Primer for Enterprise Engineering and Manufacturing*. Electronic book. <http://www.zachmaninternational.com/index.php>.

Annex: Publicacions

En aquest annex s'inclouen cadascuna de les publicacions amb el seu format i contingut complets, per la qual cosa els formats i numeració de pàgines no concorda. A continuació en la taula A-1 es detallen, les publicacions.

	Contribució	Data
1	References Architectures for Enterprise Integration	2001
2	An Approach to Enterprise Integration	2004
3	Interoperability Supported by Enterprise Modelling	2005
4	Requirements to Improve the Synchronization of Inter-Enterprise Models	2006
5	Using UML Profiles for Enterprise Knowledge Modelling	2007
6	A Methodological Proposal for the Development of an Interoperability Framework	2008
7	An Ontological Solution to Support Interoperability in the Textile Industry	2008
8	Methodology for Measuring Interoperability Potentiality	2010

Taula A-1. Publicacions.

References Architectures for Enterprise Integration

R. Chalmeta, C. Campos, R. Grangel

The Journal of Systems and Software

Elsevier Science Inc (USA)

Volum: 57, **Pàgines:** 175-191, **Any:** 2001

ISSN: 0164-1212

Indexat /arbitrat JCR: Computer Science, Software Engineering (0, 44; 44/75; 25)

SCOPUS: citat per 33



References architectures for enterprise integration

Ricardo Chalmeta^{*}, Christina Campos, Reyes Grangel

Grupo IRIS, Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos, Universidad Jaume I, Campus Riu Sec s/n, 12071 Castellón, Spain

Received 1 August 1999; received in revised form 1 December 1999; accepted 1 June 2000

Abstract

The dynamic and competitive enterprise environment requires enterprises to ensure the highest profit from their resources, integrating them to work together in obtaining the enterprises objectives. The project of design and implementation of an Integrating Enterprise System, is an extremely complex project that involves different technological, human and organisational elements. For this purpose several different reference architectures (RA) have been proposed. However, this area of research is not yet totally satisfactory because these methods may still be improved. It is necessary to adapt the different techniques to the concrete needs of each type of enterprise activity. In addition, new methods enabling the integration of several enterprises (called virtual enterprises) must be developed and their use must be popularized through examples and application experiences. This paper shows the results of the research project in RA for enterprise integration of the IRIS group from the University Jaume I of Castellón. Mainly, it is a framework consisting of a step by step methodology, reference models and a set of supporting tools, which will allow the creation of an Integrated Enterprise. Some of the results obtained from the applications in different enterprises are also shown. © 2001 Elsevier Science Inc. All rights reserved.

Keywords: Enterprise integration; Reference architectures; Enterprise models; Integrated information systems

1. The new enterprise action framework

Changes in the world economic environment, along with to the development of new technologies, especially in the information field, configure a ‘new action framework’ for the enterprise. This is one in which we go from old endeavour associated with positions in local markets to a ‘maximally competitive’ global market. This forces us to constantly modify the culture, the mode of operating and the internal organization structures of the company, in order to compete and survive in this environment.

The new highly dynamic action framework is characterized mainly by four ‘external strengths’ (see Fig. 1) that directly affect the competitiveness of the enterprise (Vernadat, 1994):

1. the ‘world-wide extension of the market’, which forces the enterprise to *extend* and *enlarge* its action radius, and at the same time introduces *new competitors* in its traditional influence area (Brown and Sackett, 1994);

2. the increasing ‘client requirements’ which forces the enterprises to manufacture with a higher emphasis on quality; on customizing demand; on offering a better service and on diminishing costs;
3. the ‘technological development’, which provides tremendous opportunities to improve the enterprises’ performance;
4. the ‘environmental impact’ which will result in the short and medium term in *restrictions* imposed by law, which will force the enterprises to modify their operating systems.

2. The need for enterprise integration

To maintain and improve their ‘competitiveness’ while reacting to the fast ‘changes’ that take place in the opportunities and needs of the market, enterprises must adopt a form of organization and operations that will allow them to obtain the ‘maximum benefit’ from their resources.

Recently several approaches oriented toward the improvement of the enterprise’s competitiveness have appeared. (McCarty, 1993) lists the main ‘tendencies’ which emphasize total quality management, process

^{*} Tel.: +34-964-728329; fax: + 34-964-728435.

E-mail addresses: rchalmet@inf.uji.es (R. Chalmeta), camposc@uji.es (C. Campos), grangel@uji.es (R. Grangel).

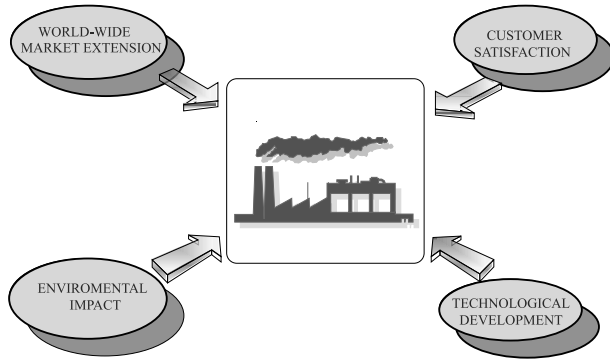


Fig. 1. The four external strengths that affect the enterprise competitiveness.

re-engineering, collaboration between enterprises, virtual enterprise, improvement of the availability of information, flexibility, and the integration of clients and suppliers.

These new tendencies and innovations in the fields of management and technology have almost always been handled in the enterprises in an isolated and uncoordinated way. Thus the large promised 'improvement expectations have not been accomplished'.

Therefore, in order to achieve all the possibilities that these new and better methods and tools offer, an enterprise must 'efficiently manage' all of its elements, 'aligning' and 'integrating' them in order to improve the ability to work together in a 'continuous improvement process' toward the accomplishment of the objectives and the strategy of the enterprise.

The necessity for 'integration in the enterprise' has been developed by many different authors like (Amice, 1993) and (Neuscheler, 1994) amongst others. One of the better definitions is that of (Lawrence and Lorsch, 1968), who defines integration as "the quality of the 'collaboration' that exists between departments (marketing, finances, manufacturing, store, etc.) in order to 'satisfy' the environmental requests ... and the processes, methods and resources thanks to which it is satisfied". The work developed by (Petrie, 1992), is also interesting, as it analyzes and justifies integration as the key variable to support the new requirements of the market.

In this way, the conclusions of the work carried out by the National Research Council of USA, when asked by NASA, on the 'impact that the efforts toward integration' were producing in concrete American enterprises like Westinghouse or General Motors (National Research Council, 1986), allows us to determine that the benefits of integration are of two types: 'strategic benefits' (which give a competitive advantage to the enterprise, establishing the best business objectives and adequate means to reach them) and 'tangible and quantitative benefits'.

These latter result in: (1) decreasing the delivery times of the products (30–60%), (2) product design time (20–50%), (3) product design cost (15–30%), (4) manufacturing mean time (50–70%), (5) space (25–40%), (6) inventory cost of the raw materials (30–60%), (7) of the product being produced (60–80%) and of (8) final products (40–50%), (9) direct manpower cost (20–35%) and (10) indirect manpower cost (30–35%), (11) quality cost (25–40%), and (12) throughput increasing (40–70%).

3. Evolution in the integration concept

The 'enterprise integration' concept, as it is posed in this paper, is a new concept that comes out of the evolution of the influences of different focuses, such as *business re-engineering*, *total quality management*, *integration of customers and suppliers*, *ERP's* etc.

The first approach toward industry integration was focused mainly on the technological aspects, solving the connection problems between different devices and the exchange of information between computer applications.

However, in the new action framework of the enterprise, it is necessary to adopt a more global focus, in agreement with the definition of 'enterprise integration', which should cover the whole enterprise and adopt an organizational focus, more than a technological one.

Nowadays, enterprise integration is applied to any type of enterprise (industrial, service, transport, businesses, etc.), and one of the main current lines of research in this field is the integration of enterprises from different sectors that play a role in the lifecycle of a product or service (virtual enterprises).

4. Enterprise integration and information systems

It is important to clarify in this point the difference between an integrated enterprise and an integrated information system. Enterprise integration, as has been defined earlier, is a focus on the enterprise's organization and functioning which includes activities, decisions, resources and information flow in a joint system in such a way that everything behaves in a 'co-ordinated' manner in order to satisfy global objectives and improve performance.

To achieve this goal it is necessary to adopt an innovating viewpoint regarding information. This should be considered a fundamental mechanism for the total integration of the enterprise's engineering and management functions.

From this approach, a fundamental objective for any enterprise integration project is the need to create a 'global information infrastructure' supported by the new

information technologies. This should be an infrastructure focused on flexibility and efficiency in its functioning. It should (1) carry out efficient information processing offering the correct information at the appropriate time; (2) allow for the co-operation between the enterprise's subsystems and its external elements; (3) cover up the heterogeneity of physical resources and information applications and (4) be able to respond to changes in the enterprise's way of functioning and the evolution of support technologies (Mayer and Painter, 1991).

Nevertheless, an integrated information system does not assume that enterprise activity has been integrated. Even though the incompatibilities that impede physical communication and exchange of data and information have been overcome, enterprise decisions may still be made in order to optimize particular and contradictory objectives. Only when the information is used within the 'co-operative integrated management framework in order to 'co-ordinate' activities and decisions towards strategic objectives ensuring communication and collaboration among groups and individuals in the firm, will the information behave as a valid mechanism for 'total enterprise integration'.

To build a computerized integrated information system capable of providing correct information wherever it may be needed, incompatibilities appearing on both, the physical level between different communication networks and protocols and the logic level between databases and software, must be overcome.

Of these two elements, software proves to be the most restricting. There are two alternatives for obtaining a software adapted to a particular enterprise's needs: to develop a customized software or to use a standard solution. Each alternative has its advantages and drawbacks.

Theoretically, a customized development will always be closer to the enterprise's particular needs. Even so, cost and time are considerable. Moreover, inevitable changes in the system (both physical and logical) may require an almost complete overhaul of applications thereby wasting a large part of previous investments.

The other option is to use a manufacturer developed standard solution. This solution is parameterized to the enterprise's needs trying to limit changes to the original. In this way, it is ensured that future versions and improvements that the manufacturer may include in the software can be adapted to the enterprise. Two types of standard solution applications can be distinguished, namely sectorial software and ERP systems.

Sectorial software is a set of computer applications developed in order to fulfill the particular needs of a sector. The software enterprise tends to be a small or middle-sized computer firm geographically situated near a cluster of enterprises belonging to the same sector and which possesses a profound knowledge of its needs. As a

result, the software is well adapted to this kind of enterprise thus implantation time is short and, due to scaled economies, the cost is not excessively high. Its main disadvantage is the size of the software enterprise which makes it unable to possess enough resources to extend the product to all areas of the enterprise and to ensure technological updating. These closed systems are very specific, of limited flexibility and do not deal with information as an enterprise resource. This makes total enterprise integration and reaping its subsequent benefits impossible to obtain.

The other option are the enterprise resource planning (ERP) systems. These are systems which were first developed to cover the needs of one sector. However, thanks to widespread ERP use, the developers have turned into large multinational enterprises and their functions have been extended to include a large number of enterprise activities. Examples of these are SAP, BAAN, ROSS, Peoplesoft, etc. (See the Gartner group comparative matrix). Its strengths include (1) size and stability of the software enterprise, which guarantees constant technological updating; (2) the database and computer applications are integrated which enables information to be shared; (3) it involves a large part of the enterprise and (4) some ERPs have process modeling and documentation tools, which in some way, allow to join the organization, the software and quality assurance.

Nevertheless, the time and the cost of every implantation are too high, especially when modifications to the standard application are necessary. To avoid this, manufacturers tend to develop sectorial maps. Basically, this consists of adding a layer over the standard software (without modifying the kernel of the ERP) closer to the needs of a sector. In this way, there will be far fewer modifications when time comes to implant it into a particular enterprise. Nevertheless, the function of even the most widespread and advanced ERP systems is not the same and this should be taken into account. This is due to the fact that having been initially developed for a particular sector, they are always better-prepared for this sector and less-prepared for other sectors than their competitors. The current trend is to widen their performance realm to cover not only operative and management type processes but also to offer information for strategic decision-making and connection among enterprises, thus giving solutions for e-business (Fig. 2).

From the standpoint of enterprise integration, ERP systems seem to be the best solution currently. Appropriate software enables the enterprise to improve efficiency, but at the same time, it forces people to work in a certain way. This is one of the main reasons of delays in software implementations. The managers of the enterprise think that software is like a machine, which you buy and begin to work quickly. They do not see software as a complex element which affects the entire organiza-

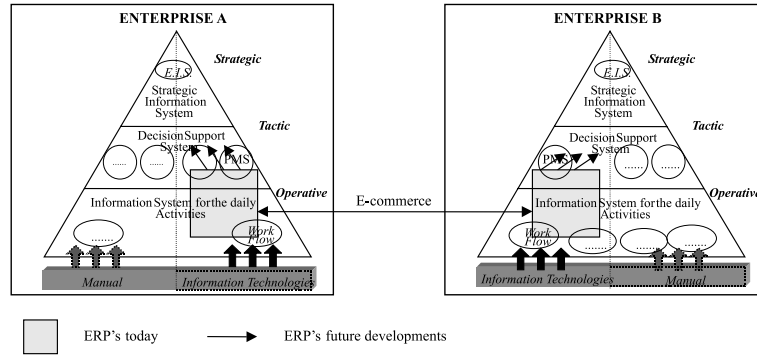


Fig. 2. Mapping the ERP's position in the enterprise.

tion and functioning and which interacts with a large part of the firm's human resources.

5. Architectures and reference models

To carry out the project of master planning and implementation of an 'integrated enterprise system' is an extremely complex process which involves different technological, human and organizational elements. In order to make the study of existing systems and the design of new more advanced systems easier by reducing the complexity level, it is necessary to establish a step by step development 'methodology' and to 'formalize' the creative process in each phase of the whole project (Pantakar, 1995).

However, the management of an enterprise integration project is usually only *informal and unstructured* using heuristic methods derived from past experience. These techniques are insufficient which increases the necessary time to develop the system and produce sub-optimal solutions.

As a result, more and more frequently, people are looking for more formal tools and more robust proceedings derived from the 'analysis based on models' which would cover all the enterprise and would allow one to show the relationships between the several functional areas. This type of technique enables us to formulate the enterprise strategy, analyzing and evaluating the global impact it produces in the enterprises beyond the limits imposed by the functional areas (CAM-I, 1981). Another characteristic of this kind of models is that they are 'open'. That is, they describe the relationships between the enterprise and the external world, including its requirements and constraints, and shows the 'dynamic dependencies' between the activities.

Crossing from this theoretical frontier to the practical one implies the generation of a procedure by which these *formal* methods can be used in the enterprise (Williams, 1989). In this way, several efforts in the development of (1) enterprise models and (2) enterprises analysis and

design methodologies are being carried out (Chalmeta, 1997b). This results are usually called reference architectures.

A reference architectures (AR) is a *framework which guides during the project of design and implementation of an integrated enterprise system* by means of a structured methodology, the formalization of operations and the support tools (Burkel, 1991).

The architecture must guide the development and application of all of the disciplines involved in the enterprise integration project, systematically modeling all parts of the life cycle of the enterprise. This means the states of definition, specification, detailed design, physical implementation or construction and maintenance, till its obsolescence. All the activities in the enterprise integration project must have their place in the RA and the enterprise development program must be detailed step by step.

Several such architectures have already been proposed by 'International Research and Development groups' (see Fig. 3). Based on a review made of the different existing proposals, whose results are presented in (Chalmeta, 1997b), 'two types of architectures' have been identified with different objectives. These are the ones directed toward the development of 'integrated information systems' and the ones which cover the 'whole enterprise integration project'. The latter are more oriented toward the problem this paper is focused.

The 'RA for the integration of information' have the objective of developing an integrated information infrastructure that communicates and coordinates the different technological devices that generate, process, distribute, and supply information. One of the most wellknown is the ARIS Architecture generated by the Institut fuer Wirtschaftsinformatik of the Universitaet des Saarlandes (Germany) (Strunz, 1990).

The 'RA for enterprise integration' are oriented toward the integration of the whole organization, considering not only the technological aspects of the system, but also the economic, social and human ones. Among the most wellknown ones are:

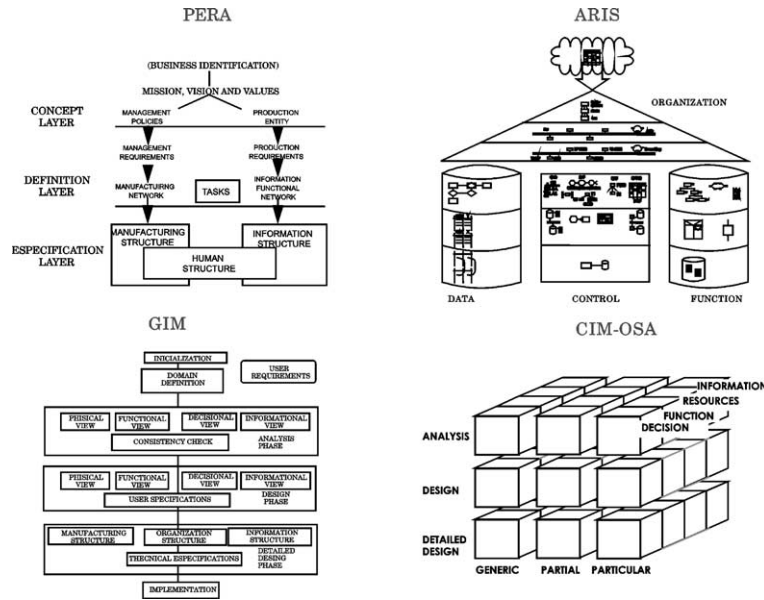


Fig. 3. Main RA (in PERA it is only show part of the enterprise life cycle).

- CIM-OSA (*open systems architecture*). Architecture presented in the ESPRIT programs of the European Union (number 688, 2422 and 5288), by the AMICE Consortium (Amice, 1991).
- GIM (*Grai integrated methodology*). Architecture derived from the work carried out by several projects subsidized by the ESPRIT program of the European Union like IMPACS (number 2338) by the GRAI Laboratory of Bordeaux University, France (Doumeingts et al., 1992).
- PERA Architecture developed by Purdue University, USA (Williams, 1993).

An important part of this research theme resulted in the work of the ‘IFAC/IFIP Task Force on Architectures for Enterprise Integration’ project (International Federation Automatic Control International Federation Information Processing) (Bernus et al., 1996). This project had a first objective (1991–1993) which consisted of the selection of an architecture that would describe and present all the necessary activities to establish, carry out and complete an enterprise integration program for any kind of enterprise.

Due to political factors, it has been impossible for the members of this group to select only one architecture

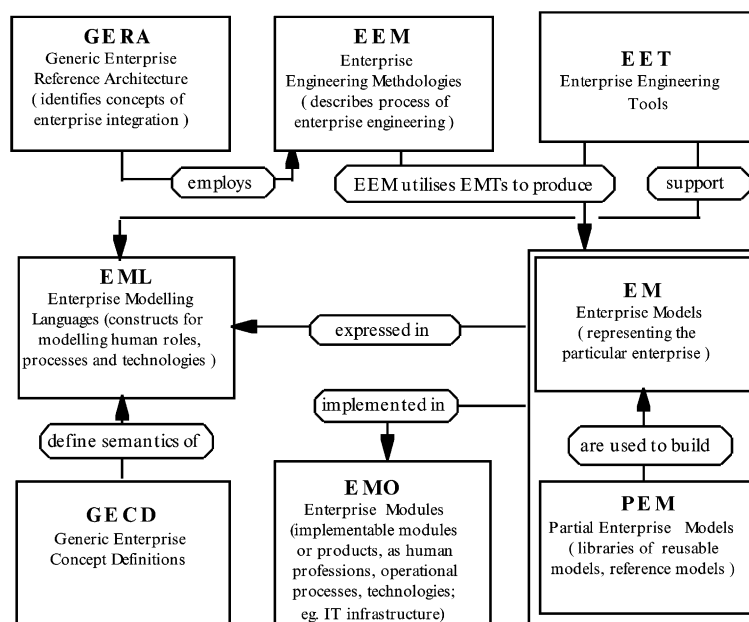


Fig. 4. GERAM components.

that could be considered by everybody as the best one (Williams and Li, 1995). However, thanks to the wide study carried out in this work in the second period of three years of the project (1994–1996) the requirements and components, which such a RA has to fulfill in order to be considered complete, have been defined. These requirements and components are synthesized in generalized enterprise RA and methodology (GERAM), see Fig. 4) and are being studied by the International Standard Organization (ISO) Working group TC184/SC5/WG1. Based on this, any kind of proposal for an enterprise integration RA can be evaluated under these criteria to get 'ISO and IFAC certification'.

6. Diagnosis of the current situation

Among the different existing architectures, only CIM-OSA, PERA and GRAI/GIM could presently have the possibility to fulfill the GERAM requirements necessary to be considered an 'enterprise integration RA' by the IFAC and ISO entities, as ARIS and other proposal as CIM-BIOSYS (developed by the Systems Integration Group of the Loughborough University (UK), (Weston, 1993)) are oriented toward the development of an integrated information system, not toward the integration of the whole enterprise.

The comparative study realized in (Chalmeta, 1997b) of these enterprise integration architectures enables one to conclude that PERA develops to a high detail level the methodology to follow for the enterprise integration in each phase of the enterprise development program (Hong and William, 1994). However, it adopts a bottom-up construction focus of the enterprise functional system, defining at the beginning elementary tasks, and then gathering them into enterprise activities to satisfy the strategic objectives. This proposal could be possibly be improved by introducing the specific identification of the business processes in a top-down approach used to develop the data and material and energy flow diagrams.

On the other hand, the CIMOSA and GRAI/GIM architectures are focused on the construction of an *integrated model* to assist in enterprise design, but do not cover the whole life cycle of the enterprise. Moreover, they use different methodologies to model different views of the enterprise (informational, resources, decisional and functional), not offering any method to solve the resulting inconsistencies nor being able to construct a dynamic integrated model.

Another factor to take into account is that although there are different applications of the three architectures in real enterprises, it appears that they have been focused mainly on big manufacturing enterprises. So, it would be interesting to prove this architectures in the integration of different size companies involved in the

life cycle of a product or service (supplier, manufacturer, deliveries, etc.).

Therefore, all these architectures can be improved, as they have not completely generated the necessary methodologies, modelling techniques and adequate execution tools for the different kinds of enterprises (Pantakar, 1995).

7. The ARDIN project

In this context, the IRIS Group, of the University Jaume I of Castellón, Spain has been working in the ARDIN research project since 1994. The objective is to develop and validate a step forward in the state of the art of the RA for Enterprise Integration. The work plan has been:

- Synthesizes the existing (and in our opinion) complementary approaches, in only one architecture. The earlier architectures have many good points, and we wish to take advantage of this.
- To improve the result architecture incorporating new techniques, methods, models and templates.
- To validate its usability and application, carry out real enterprise integration projects, mostly in the small and medium-sized enterprises of different sectors.
- To organize knowledge and experience obtained in our own architecture called ARDIN. This architecture is being built giving priority to its practical utility as project execution support in enterprise integration. A long range objective will be the achievement of the needed requirements and components to satisfy the GERAM requirements for a 'complete enterprise integration RA'.

8. Characteristics of a RA

The first activity of the project was to identify the 'characteristics' that the methodology and the reference models (the two main components of the architecture) must comply in order to carry out the enterprise integration project adequately (Tables 1 and 2). This work has been carried out independently of the GERAM work, so it can be compared with it.

9. The ARDIN architecture

After this work, we are now developing the ARDIN architecture. It is being developed with a strong orientation toward its practical application to medium and small enterprises, for which it bases itself on real studies of concrete enterprises.

Table 1
Methodology requirements of a complete architecture

Methodology requirements	
Complete	It must show a full vision of the enterprise and its relations with other enterprises.
Support for decisions taking	It must present the impact that a concrete enterprise development program generates in the enterprise, allowing to solve and select the one amongst other programs that improves the performance of the enterprise
Multi-disciplinar coordination	It must co-ordinate the set of disciplines that exist in the enterprise in order for the decisions to convey in one plan with common objectives
Structured analysis and design methodology	The architecture must consider all the enterprise. Therefore it must include several views. The technological, information, organization and human aspects must appear, as well as the relationships between them and their external elements
Abstraction levels	It must support the decisions making at strategic, tactical and operational level
Standardization	The architecture must allow the standardisation of the evaluation criteria and of the methods and modelling tools in order to compare the results of the performance of the enterprise with the internal and external standards (benchmarking)

Table 2
Modelling requirements of a complete architecture

Modelling requirements	
Modeling technique	It must present a method to identify all the enterprise elements
Modularity	The architecture must provide a modular structure which has to enable to face the modelling process by parts, but assuring at the same time the consistent integration of all the modules
Open system	The architecture does not have to be a closed one. It must generate a model ready to be extended and adapted, reflecting the enterprise evolution in parallel with its environment and the technological improvements. They must provide the means to analyse changes, give them priorities and incorporate in the model the ones that are interesting for their evaluation in decisions taking
Global	It must be a global model of the enterprise which allow to shared and reused the knowledge included in it, for the decisions taking
Parametric	The model must be adapted to the concrete requirements of each domain
Maintainable	It must have upgrading capacity maintaining consistency
Simplicity	Implementation of the model must not be complex
Innovation	It must make easier the innovation capacity of the involved persons
Automatic maintenance	The model maintenance must be easily made by users
Supporting tools	It must offer a strong support of information technologies in order to create consistent and easily enhanced models
Permanent	The model must survive to the re-organization of the enterprise and be independent from the physical storage of information it uses
Useful	Easily understandable, strong and capable to work with the maximum interest areas

Among the main characteristics of the ARDIN architecture it can be shown that (1) it proposes an enterprise vision oriented toward *business processes*, (2) it establishes the life cycle of the enterprise system based on a *continuous improvement* process, (3) it uses *modeling* and *simulation* as tools to analyze the decision impact and (4) it describes a method to integrate and coordinate the *consistency* of the *decisions* and the operations with the strategic objectives.

The architecture uses the ‘business process’ as the *structural unit (subsystem) on which the integrated enterprise system is developed*. This methodology allows to organise all the main enterprise elements (*activities, resources, information and decisions*) in order to maximize the value of the products and services that the enterprise offers and that the clients require.

For the graphical representation of every process, different modeling tools are used inside ARDIN. In order to speak to the managers of the enterprise, IDEF0

(CAM-I, 1981) for the operative tasks and GRAI nets (Doumeings et al., 1992) for the management system are the best, because of their simplicity. In addition the object-oriented modelling allows the development of a ‘dynamic enterprise integrated model’, including all aspects normally modeled separately (functional, decisional, informational and resources). This model can be used to simulate and to evaluate the business process performance.

At the moment we have a prototype focus on the tile production process, and another focused on the transport industry (Chalmeta et al., 1997a). This prototype is now being adapted to the new object-oriented modelling language UML and it is being extended to cover all of the enterprise’s internal and external processes.

The simplicity and capacity to highlight the different parts of the enterprise offered by IDEF0 and Grai-Net techniques together with the properties of object-oriented modeling such as specialisation, collaboration,

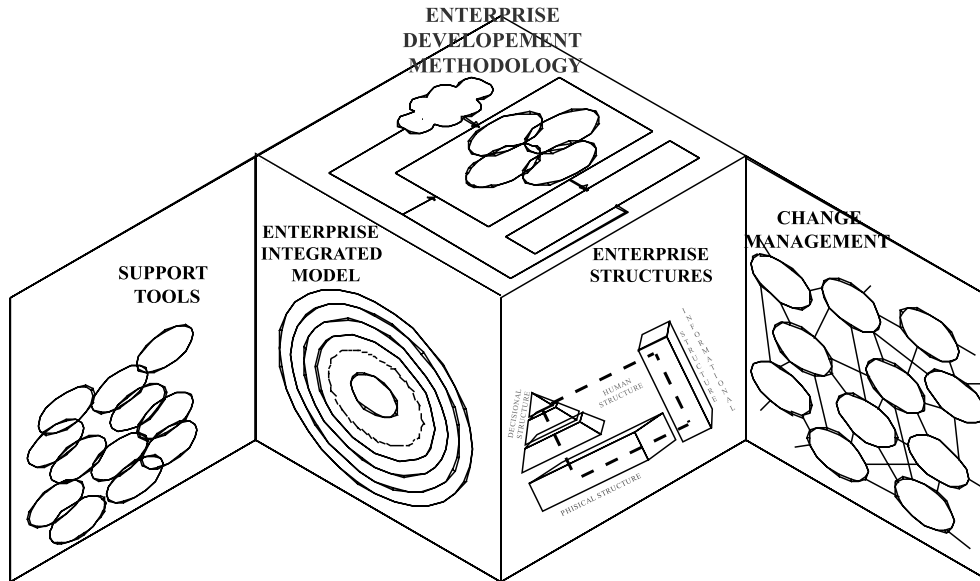


Fig. 5. The five dimensions of the ARDIN RA.

fractal composition, modulation, concurrence, scalability and the capacity to represent all enterprise elements together including dynamic behaviour, etc. (Taylor, 1995), allows the generated models to comply with the modelling characteristics defined in Table 2.

The ARDIN architecture is organized in 'five dimensions' (see Fig. 5):

1. *First dimension*: A step-by-step 'enterprise development methodology', to guide the construction of a *integrated enterprise-system* using the business process vision and capable of *dynamic evolution* depending on necessities and objectives. In (Chalmeta et al., 1996) some of the characteristics of the methodology are shown in more detailed.
2. *Second dimension*: An 'enterprise integrated model', which assists the enterprise design process, supporting the decision making from an integrated perspective. As noted above, the model is generated by an object-oriented interpretation of the business processes and of their basic aspects.
3. *Third dimension*: The formalization of the construction process from the model, of the different enterprise structures. At the moment we have developed with more detail the process of construction of an 'information integrated infrastructure' which groups the informational specifications required for the decisions and activities of the enterprise and ensures the necessary data flows and physical resources to co-ordinate them. However, the objective is to formalize the building of all the structures (definition and organization of the human resources, identification of the technological resources, etc.).
4. *Fourth dimension*: A set of 'support tools', based on the information technologies, which assist in the pro-

cess of designing, evaluating, implementing, and controlling the integrated enterprise.

5. *Fifth dimension*: The 'efficient change management', to transform and organize the enterprise resources (including the human resources, which may have different objectives, criteria, formation and culture), in a continuous improvement system.

10. Interrelation between the dimensions

The ARDIN RA is organized into five interrelated dimensions. However, from a more traditional vision, the Architecture can be represented as a unique dimension (the step by step development methodology, see Fig. 6) and a set of techniques and tools which give support to each one of the phases of the methodology (the other four dimensions).

In this way, the *second dimension* describes the procedure to develop models which can be used as a support in the enterprise conceptual and design phases. The *third dimension* is focused on the construction and implementation of all enterprise structures, aspect that is included in the second phase of the methodology. The *fourth dimension* presents a set of tools (based mainly on information technologies) which are applied in the conceptual, design and execution phase. Finally, the *fifth dimension* shows how the enterprise must involve itself in a continuous improvement process to evolve in accordance with its present and future necessities.

This vision in the ARDIN architecture emphasizes even more the strong existing interaction between the different dimensions. Moreover, it also justifies the Ar-

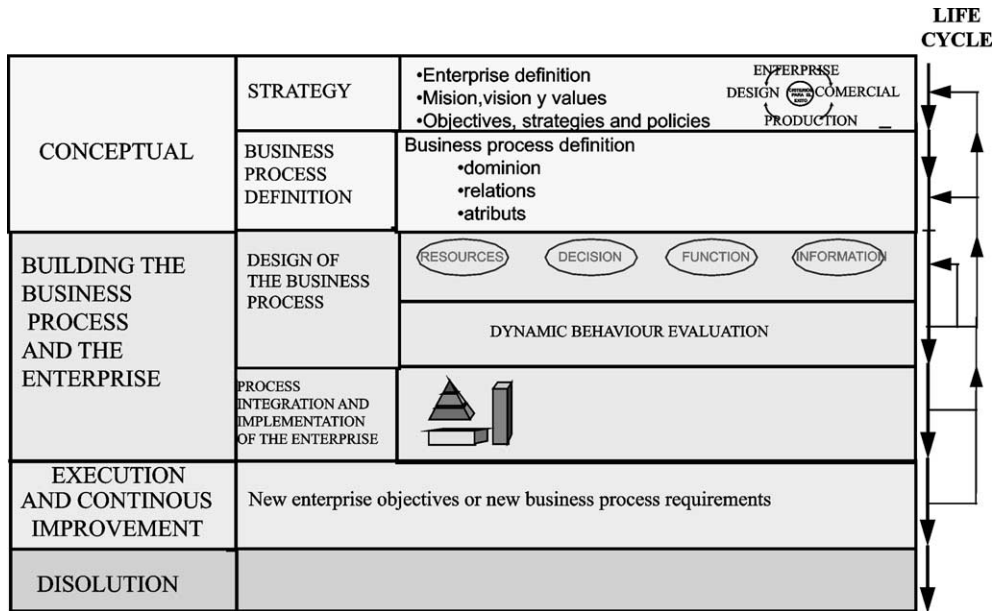


Fig. 6. ARDIN enterprise integration methodology.

chitecture name, as what is being proposed is not only a methodology or a tool, but a set of different elements that together enable one to successfully lead the enterprise integrated development process.

11. Applications of the ARDIN architecture

ARDIN Architecture has a strong orientation towards its practical application to enterprises. The IRIS group have applied the methods and techniques developed in the ARDIN Architecture to small and medium enterprises, as well as holdings and virtual enterprises of different sectors: chemistry, construction, transport, textile, information technology and governmental. The objective is that it can be applied to both new enterprises (at the constitution phase) and enterprises in the execution phase that want to improve their performance. However, at the moment all the work has been oriented more to real enterprises. For this reason, some of the tools that are going to be shown in this point should be adapted to the integrated design and implementation of new enterprises.

The enterprise integration programme that is proposed following the methodology of the ARDIN architecture, from a practical point of view, can be summarized as follows (see Fig. 7):

1. Definition of the conceptual aspects of the enterprise: the mission, vision, strategy, politics and enterprise values.
2. Design (re-design) of the new process map according to the previous defined concepts.

3. Implementation. Four steps should be done:

- to sort the priority of short, medium and long term improvement projects obtained as a consequence of the new process map;
- to implant improvement projects of highest priority;
- to establish a quality control and insurance method;
- to design a continuous improvement system to implant the medium and long term improvement projects and to define new goals or changes in the processes.

4. To organise and to manage human resources according to the process map. All the workers and managers have to know what their activities and responsibilities are (who, what, where, how and when).
5. To build the information system to support the process map of the company, considering the different decision levels and the support technology.

The above five activities within the enterprise integration programme have to be managed and controlled as an engineering project. The fundamental requirements to be successful in the project are: to sensitize the Directors of the company, to create a committee, to nominate a co-ordinator, to approve the scheduling and the internal diffusion of the project goals. Furthermore it is necessary to supervise the evolution of the project, in order to avoid resistance to change, to motivate the employees, to measure the amount of participation and to evaluate the results.

The activities, in which the enterprise integration programme is divided, according to the ARDIN architecture, are shown below. Some of the results obtained from the applications in different enterprises are also shown.

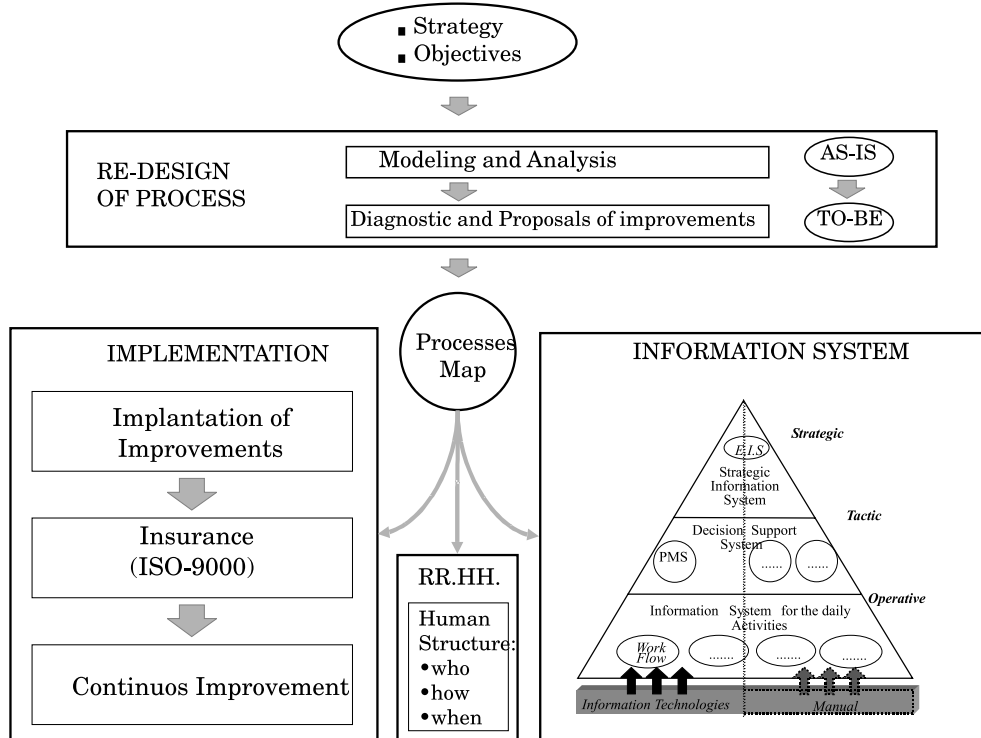


Fig. 7. Entreprise integration programme.

11.1. Conceptual aspects

The starting point within a program of integrated development is always the analysis of the enterprise goals (mission, vision and strategy) and its culture (politics and values). The fact that a company goes on and has good economic results, does not mean that it works efficiently and has defined its goals and responsibilities. So, it is very important, before beginning a new integration project, (1) to understand and to explain the enterprise strategy, defining where the company is, where it wants to go, and where it is actually going and (2) to analyse its culture and its internal organisation and control level.

11.2. Business process design

Once the strategy goals have been defined, the next step is to design the way to achieve these goals through the company business processes. To define the processes map, the actual situation (the AS-IS) has to be analysed and the new enterprise processes (TO-BE) must be designed. To do this, it is necessary to carry out questionnaires and interviews with the company workers. An example of the templates is shown in Fig. 8.

Two distinct approaches to carry out AS/IS–TO/BE analysis exist. For example, some authors say that in a integration project, the AS-IS should be ignored, so as

not to retain old obstacles and that the effort should be focused on the design of an ideal TO-BE. Our experience obtained in the integration of different companies shows that the actual resources (human and technological) as well as the culture and company psychology are a big constraint. Therefore, for defining the TO-BE processes, the AS-IS has to be understood and the best available solution has to be chosen, thus avoiding a situation based on ideals only.

As a result of this work, the way an enterprise operates may greatly change. These changes may stem from defining new processes or radically improving already existing ones. Moreover, a large number of small improvements can be identified mainly due to the elimination of activities or carrying them out in parallel, reassigning resources or improving information supply. This phase of the methodology could be associated to a re-engineering project if great changes based on information technologies have been identified. If small changes are obtained, it may be associated to a continual improvement project. These improvement approaches are clearly complimentary and not at all exclusive (Kelada, 1996).

An interesting element to carry out the business process design and to reduce time and costs is the use of a reference model. A reference model describes how the processes should be using the best working practises and how the roles of the human resources should be. A reference model is built from a benchmarking of

JOB DEFINITION

Date: _____

Department: _____

Job: _____

Name of employee/s: _____

FREQUENCY (FREQ): D - Daily, S - Weekly, M - Monthly, A - Yearly, V - Variable.
COMPUTER SYSTEM (SIST): YES/NO.

TIME	DURATION	FREQ	MICROPROCESS	SIST

OBSERVATIONS :

DESCRIPTION OF A MICROPROCESS

MICROPROCESS: _____

Nº	ACTIVITY	DESCRIPTION	INPUT		OUTPUT	
			INFORMATION	ORIGIN	INFORMATION	DESTINATION

OBSERVATIONS:

Fig. 8. Example of questionnaires.

different companies in the same sector and similar processes from companies of other sectors.

Fig. 9 shows a process map diagram of the reference model of the tile industry developed by the IRIS Group. The big arrows show the tile industry macro-processes. Each macro-process is divided into micro-processes, activities, tasks, and so on until getting down to the lowest level, that is, the event produced by a human action or a machine. Every task of the model has inputs, outputs, controls and resources (see Table 3).

In addition to the operational part (activities realised), the model shows the information, the resources and the decisional alternatives for each activity within the process. Decisional alternatives represent the different ways of doing an activity and their election depends on the established goals for the process, according to the strategy and the politics of the company (see an example in Table 4).

Someone has to take these decisions. The process/function matrix should be completed in order to know

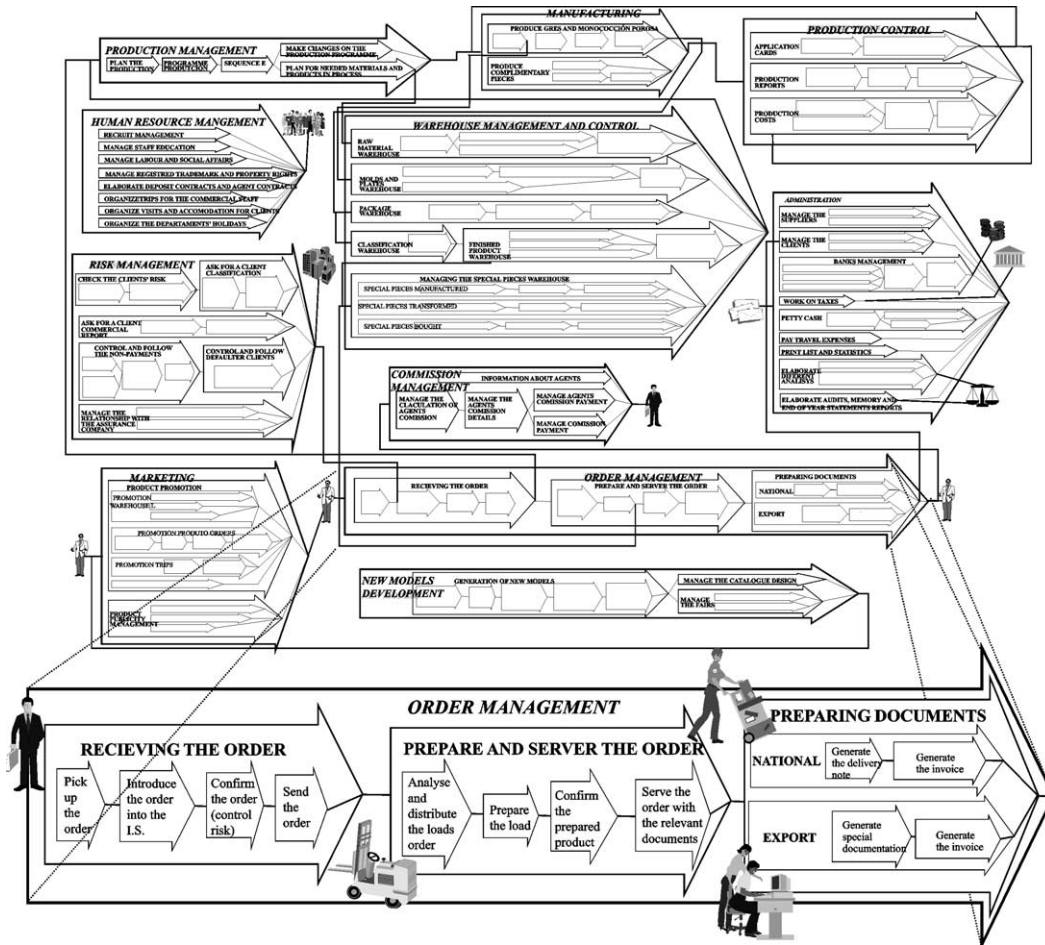


Fig. 9. Tile industry process map.

Table 3
Example of a task

Introduce the order into the information system (IS)	
The aim of this activity is to introduce the order in the IS Clients that place orders have already been introduced by the commercial area, who, in turn, have previously accorded payment conditions, sales conditions and prices with the client. Moreover, it has asked the risk area for client risk information.	
The order can arrive from two source, by phone call or fax, whether coming from the client or from the commercial agent. Independently of the source from which orders arrive, their reception is centralized in the expeditions department ...	
Inputs	Client order (telephone, fax, other media) Items information (code, size, quality, etc.) Client information (fiscal data, delivery address, etc.) Additional information of the client and/or the order provided by the commercial agent
Outputs	Order
Controls	Catalogue Prices Enterprise politics IS capacity
Resources	Sales area staff IS, telephone, computer, etc.

who is the owner of every process (see Fig. 10). In addition, Fig. 9 can be improved by coloring the activities carried out by personnel in the same department with the

same colour. In this way, the figure represents the horizontal view of the enterprise by means of the processes and the vertical view by means of the departments.

Table 4
Example of decision alternatives

Decision analysis		The client exceed the risk	
Decision 1	Decision 2	Advantages	Disadvantages
Introduce the order into the IS and wait until the commercial for director's authorization	Reserve demanded items	It will not load orders to high risk clients without a previous control by the commercial director A product reservation is made, and can be confirmed after the authorization	When a reservation is made, the available products will be kept for no risk clients only
	Do not reserve demanded items. They are kept only as information	Product that may not be served will not be reserved No risk client orders can be placed It will not load orders to high risk clients without a previous control by the commercial director	When the commercial director authorizes the order it is possible that the available product item is not available
Do not allow the introduction of the order into the IS			The commercial agent must find an alternative way to register the order, which will generate duplicity

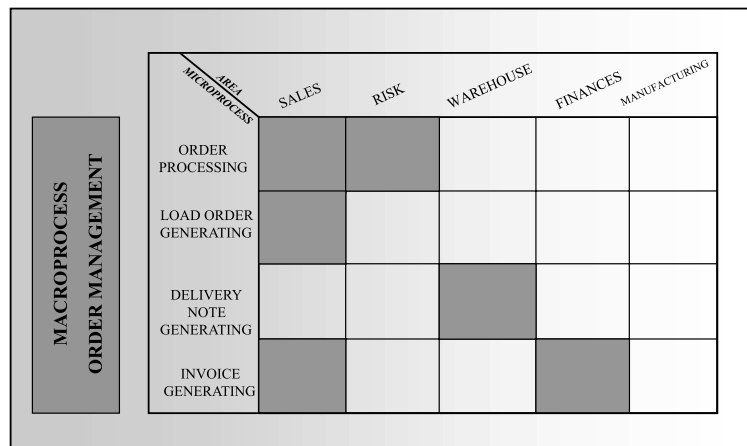


Fig. 10. Processes/functions matrix.

This reference model facilitates the business process design project in a tile company. It has reduced from four months to one the time required for the IRIS Group to carry out the whole study: the analysis of the AS-IS and the improvement proposals (TO-BE). On the other hand, this reference model has been used by Baan Business System (now Vanenburg Business Systems) to develop templates for the Tile industry of its software ERP, with the goal of reducing the cost and the time of the implementation of BAAN ERP in a tile industry.

Another reference model developed by the IRIS Group is oriented to road transport enterprises. This model has served to implant the working processes and to develop the information system in a Spanish virtual transport enterprise (Chalmeta, 2000). This virtual transport enterprise is a temporary alliance of 45 small

and medium size enterprises that work together through the establishment of co-operative agreements, to share resources, skills, and costs, supported by Information and Communication Technologies in order to better attend market opportunities, to reduce the transportation cost and successfully fulfil a responsible corporate strategy.

11.3. Implementation

As a result of applying the business process design in a company, a new process map is designed. The next step is to implant and to control the migration of the old system (the AS-IS) in the new processes (the TO-BE).

Table 5 shows a template to begin the AS-IS/TO-BE analysis. This template is also appropriate for showing

small improvements in the processes since the AS-IS and the TO-BE activities will coincide, although they will be carried out differently. A significant re-design effort may result in a completely different set of activities, in which case another template model would be needed to show the process result regarding AS-IS.

The gap + restrictions column shows the differences between current work performance, desired work performance and the restrictions that exist to achieve the latter. In this way the TO-BE enterprise implementation may be broken up into a series 'of co-ordinated projects', that will be set in priority, and if the enterprise already exists, these projects will form the transition path from the AS-IS to the TO-BE enterprise. Traditional cost/benefits analysis is a very useful tool to define the priority of the projects within the integration program. However, organizational, technical and operational aspects should also be considered. Therefore, ARDIN can be used as the basis for feasible enterprise project identification, execution and management, all of which are within the financial, physical and economic capabilities of the enterprise and the requirements of the conceptual phase are met.

Once the projects have been prioritized, the short term projects must be implanted. It will mean changing attitudes, both in the directors of the company and the employees, defining new roles and redesigning the company structure. The results must be that everyone in the company knows its activities, knowing what to do and how to do it. In order to ensure that the desired changes have been properly implanted, a method for quality assurance (as for example ISO 9000) is necessary. Finally, a continuous improvement system must be designed, allowing (1) to implant in the future the medium and long term improvement projects and (2) to adjust the enterprise to the environmental changes. When these projects are completed, the integration desired will be completed.

11.4. Human resources

As a results of the integration project everyone in the company will know its activities, knowing what to do and how to do it. So it will be able to define the new company structure.

Table 5
AS-IS/TO-BE analysis

Area:	Sales	Document code:EncAsisTobe	File:EasisTob.doc	
Macroprocess:	Order management	Author:Pilar García García		
Microprocess:	Order processing	Creation date:14-Apr-99	Modify date: 14- Apr-99	
Activity ^a	AS-IS ^b	TO-BE ^c	FIT ^d	GAP + Restrictions ^e
(1) Collect data about the order	The order is received via fax or telephone from the client. If the order is received via telephone, data is written down in an orders notebook to be introduced into IS afterwards	If the order comes via telephone, data must be introduced straight into the IS	NO OK	The IS dose not allow real time performance due to the complexity of the consultation be carried out during the data introduction. Restriction: IS
(2) Consult the client risk	Before introducing the order into the IS data about client risk must be consulted. If client risk exceeds the credit assigned, the IS dose not allow the introduction of any more orders. For this reason, it is necessary to write down the order	The order risk consultation option must be accessible from the order introduction option and must be updated with the introduction of each new detail line. The IS must allow the introduction of high risk client orders and the block them in order to avoid processing until their situation changes or a person in charge decides to block them.	NO OK	The IS dose not allow the introduction of high risk and it obstructs its consultation. Restriction: IS
(3) To introduce order data into the information system	Trough the option "New order", the head data and detail lines of the order are introduced		OK	

^aThe activity must coincide with the show activities in the textual description and the DEM.

^bDescribes how the activity is carried out at present.

^cDescribes how the activity must be carried out in the future.

^dIt must be know as follow: OK: if the activity is carried out at present in a desirable manner.; NOT OK: if the activity is not carried out according to a desirable manner.

^eDescribes the differences between the TO-BE and the AS-IS, showing possible restrictions to go from the AS-IS to the To-BE.

11.5. Information systems

A very important aspect in the company's integration is to co-ordinate the process activities in time and space through the transfer of information between the processes. "Information is the gum that keeps the organisation structure joined" (Rockast, 1988). The information is utilised to integrate the activities within a process and between many processes, since many times the information that has a process is useful to another one. Therefore the information systems are a basic element to integrate the company.

To build an appropriate information system presupposes establishing the relationships between the company, its activities and information management: how the information is generated, how it supports the company's operation and how it is managed. Therefore, the first step in the development of the information system is to define the information requirements to co-ordinate the decisions and to execute the activities from an integrated perspective.

In a traditional methodology for the development of an information system in a company, the requirement specifications are realised through a functional area analysis. For example, the marketing applications to solve marketing problems, the manufacturing applications to solve manufacturing problems, etc. As a consequence, the data utilised within one area cannot be utilised in another because this possibility has not been forecasted.

This unsuitability to reach the integration when information and enterprise activities are considered within the departmental boundaries suggests that it is necessary to collect the specifications of the information requirements through an analysis of the business processes.

The proposed model for the information system development by ARDIN architecture is oriented to the process map of the company. It guarantees the integration of the company's activities through the information, thus allowing the company to broaden the possibilities of using the information to increase the company performance. The information can be used to measure and monitor process performance, to improve its design and execution, to integrate the activities within

and between the processes, to fit the processes to the clients, to facilitate the long term plans, to support the decisions related to the activities, to control the strategy evolution, etc.

Finally, it is necessary to point out that in an information system oriented towards functional areas, it is very difficult to come to conclusions about the processes and the enterprise performance. Only when the information system is oriented towards processes, enough information is generated to study how good the company processes are. In this way, computers are capable of gathering information on and reporting about resources consumption, the time, cost, etc.

One aspect that must be emphasised is the need to separate what is manipulable (information) from the element that executes the manipulation (information technology). A lot of the information that circulates through the company is not taken into account by the information technology, but rather can be supported by other means, like paper, telephone or oral transmission. In this paper, the 'information systems' and the problematic related to its design are oriented to a computerised information system.

A company processes map defines the requirements of the information system which will be used (1) to develop a customized software or (2) to compare the ERP software currently on the market in order to select the most appropriate one for the enterprise objectives and processes. The exhaustive requirements definition carried out according to ARDIN architecture also serves to obtain a closed contract regarding time and cost with the enterprise that develops or implements the software. Fig. 9 shows, as continuous lines, some of the information in and between the processes of the reference model of the Tile Industry and Table 6 shows some of information requirements of the tile industry reference model.

Therefore, those activities for enterprise integration, according to the ARDIN architecture, related to enterprise strategy analysis, enterprise processes map redesigning, improvement projects defining, etc. must be carried out before choosing whether to develop a customized software or to adopt a standard ERP. In this way, an alignment between the information system and

Table 6
Example of functional requirements of the IS

Process: order management
<i>Requirements of the IS</i>
The IS must facilitate the consultation of articles available in the warehouse showing whether the product is reserved or not
The IS must allow the introduction of order lines of articles which are not in stock
The IS must give knowledge about client risk status when the order is introduced
The IS must allow the easy generation of the load order which marks the order lines of a determined client's pending orders
The personnel in charge of the warehouse may consult other locations in the warehouse and modify them on the load order
When the delivery note is generated, the previous associated documents must be updated properly; that is, the lines that have been served must disappear from the order and the corrections affecting warehouse stock must be updated

the enterprise strategy is achieved. In other hand, it is shown that Ardin architecture is useful for both the development of customized systems as well as for standard ERP software implementation.

12. Decision support system

Decision support systems (DSS) are part of the information system and support the tactical and strategic decisions. The performance measure systems and the cost models are examples of DDS that are very useful for any kind of enterprise and are a powerful tool for improvement if used along with enterprise integration. They are necessary to prescribe, suggest and assist in the design and management decision-making phases.

The kernel of a performance measurement system is a set of indicators that can be classified from six perspectives: customer, financial, internal process, learning and growth, quality and environmental. This set of indicators can be employed as the foundation of an integrated and iterative strategic management system. It enables the VTE company to:

- clarify and update strategy;
- communicate strategy throughout the company;
- align unit and individual goals with the enterprise strategy;
- link objectives to long-term targets and annual budgets;
- conduct periodic performance reviews to learn about and improve strategy.

Inside the ARDIN project, a performance measure system for a virtual transport enterprise has been built. This system allows controlling both, the performance of a company part of the group, and the performance of the whole group. In order to develop the performance measurement system for a VTE we have followed the methodology derived from the work carried out by members of the IRIS group under the project TQM-tile funded by the ESPRIT program of the European Union.

13. Conclusions

The complexity of the enterprise action framework, forces the enterprises to adopt an organizational and operational focus which will allow them to obtain the 'maximum benefit' from their resources. To reach this objective, an enterprise must 'efficiently manage' all its elements, aligning and 'integrating' them so that they work together toward the achievement of the enterprise objectives and strategy.

The project of master planning and implementation of an 'integrated enterprise system', from the above proposal, is an extremely complex process which in-

volves different technological, human and organizational elements. To make the study of existing systems and the design of new more advanced systems, easier, reducing at the same time the complexity level, it is necessary to establish a step by step development 'methodology' and to formalize the creative process of each phase.

In this way, various efforts in the development of models and methodologies to analyze and design integrated industrial systems (called usually RA) are being carried out. However, the current paradigms are not fully complete, as the modeling methodologies, representation techniques and adequate executing tools have not been fully developed.

Within this framework, the 'ARDIN Project' has been shown. The implementation of an integrated system using the ARDIN proposals will allow the enterprises:

- to obtain a most efficient, flexible and versatile organization, by means of the combination of the vision of the enterprise management through the business processes, with the support offered by the information technologies for its design and execution;
- to elaborate a homogeneous reference frame within the company that allows verifying that the activities carried out and the services offered have an appropriate quality level;
- to integrate the value chain, which has an effect on management improvement, by decreasing global costs and increasing service quality;
- to establish a procedure to guarantee the validity and the renewal of the process in order to reach different strategic objectives as they are identified successively;
- to involve the future users so that when the new process map implanted, it will have a positive development;
- to create a cultural change factor among the company staff by looking for a more participant management style and introducing continuous improvement processes in its activities.

The project implantation will mean establishing a new and better intercompany relationships.

Acknowledgements

The ARDIN project is being founded by Cicyt, Bancaja and different enterprises.

References

- Amice, C., 1993. CIM-OSA: Open System Architecture for CIM. Springer, Berlin.
- Amice, C., 1991. Open System Architecture for CIM. Springer, Berlin.
- Bernus, P., Nemes, L., Williams, T.J., 1996. Architectures for Enterprise Integration. Chapman & Hall, London.

- Brown, J., Sackett, P., 1994. Industry Requirements and associated research issues. In: *The extended enterprise*, IMSE'94, France.
- Burkel, J., 1991. Applying CIM for competitive advantage. In: *Proceedings of Autofact'91*, Chicago.
- CAM-I, 1981. Consortium for advanced manufacturing – International Architect's Manual, ICAM Definition Method, IDEF0. ICAM Library Catalog, Poole (G.B), DR-80-ATCP-01.
- Chalmeta, R., 1997b. Arquitectura de Referencia para la Organización Integrada de la Empresa. Servicio de Publicaciones de la Universidad Jaume I, Castellón.
- Chalmeta, R., Lario, F.C., Ros, L.R., 1997a. Knowledge representation with object-oriented modeling. *Studies in Informatic and Control* 6(1).
- Chalmeta, R., Lario, F.C., Ros, L.R., 1996. A model for the re-engineering project management. In: *Proceedings of the Third International Congress of Project Management*, September, Barcelona.
- Chalmeta, R., 2000. Virtual Transport Enterprise Integration. *Journal of Integrated Design & Process Science*.
- Doumeings, G. et al., 1992. GRAI-GIM integrated methodology. A methodology for designing CIM systems. Version 1.0. LAP/GRAI, Universidad de Burdeos, France.
- Hong, L., William, T.J., 1994. A formalization and extension of the Purdue enterprise reference architecture and the Purdue methodology. Report number 158, Purdue Laboratory for Applied Industrial Control.
- Kelada, J., 1996. Integrating reengineering with total quality. ASQC Quality Press cop, Milwaukee, WI.
- Lawrence, P., Lorsch, J., 1968. *Organisation and Environment*. Irwin, USA.
- Mayer, R.J., Painter, M.K., 1991. Roadmap for enterprise integration. In: *Proceedings of Autofact'91 Conference*, Chicago, pp. 7.1–7.26.
- McCarty, F., 1993. World-class manufacturing: a practical viewpoint. In: *Proceedings of the Flexible Automation and Information Management*, in FAIM, Limerick.
- National Research Council de EE.UU. 1986. Impact of integration efforts at McDonnell Aircraft Co., Deere and Co. Westinghouse Defense and Electronic Cener, General Motors, and Ingersoll Milling Machine Co. Special Report to Nasa, Washington, DC.
- Neuscheler, F., 1994. The economic view: a concept using benchmarks to analyze. In: *Evaluate and Optimizate Business Process*, IMSE'94, France.
- Pantakar, K., 1995. Enterprise integration modeling: a review of theory and practice. *Int. J. Comput. Integrated Manufacturing* 8(1).
- Petrie, C., 1992. Introduction. Enterprise Integration Modeling. In: *Proceedings of the First International Conference*, Cambridge, UK.
- Rockast, J., 1988. *Information technology and the new organization*. MIT Sloan School of Management, USA.
- Strunz, H., 1990. Zur Begründung einer Lehre von der Architektur informationsgestützter Informations und Kommunikationssysteme. *Wirtschaftsinformatik* 32.
- Taylor, D., 1995. *Bussines Engineering with Object Technology*. Wiley, New York.
- Vernadat, F., 1994. Future R&D directions for CIM deployment. IMSE'94, Francia.
- Weston, R., 1993. Steps towards enterprise-wide integration: a definition of need and first-generation open solutions. *Int. J. Production Res.*
- Williams, T., 1993. The purdue enterprise reference architecture. In: *Proceedings of the Workshop on Design of Information Infrastructure Systems for Manufacturing*, Tokyo, Japan, November, Elsevier, Amsterdam.
- Williams, T., Li, H., 1995. A specification statement of requirements for GERAM with all requirements illustrated by examples from PERA. Report number 159, Purdue Laboratory for Applied Industrial Control, September.
- Williams, T.J., 1989. Reference model for computer integrated manufacturing, a description from the viewpoint of industrial automotion. In: *CIM Reference Model Committee, International Purdue Workshop on Industrial Computer Systems*, Purdue Laboratory for Applied Industrial Control, Purdue University, West Lafayette, IN, May 1988, Research Triangle Park, NC, 1989. Instrument Society of America.

Ricardo Chalmeta is an associated professor in the Department of Computer Science at the University Jaume I of Castellón, Spain. He is chief of the Systems Integration research group (IRIS group) at this university. He received the B.S, M.S. and Ph.D. degrees in Computer Engineering from the Universidad Politécnica de Valencia, Spain. He has been invited as researcher and lecturer from different universities like the Griffith University (Australia), the Purdue University (USA), the University of Sao Paulo (Brasil), the University of Osnabruck (Germany), the University of Lima (Perú) or the University of National and World Economy (Bulgaria). He has served as a consultant in several manufacturing and transport firms, working in enterprise integration and re-engineering activities and in the development of integrated information systems. His research interests include enterprise integration, re-engineering, information systems, electronic commerce, workflow, modeling and simulation.

Christina Campos is an assistant professor in the Information Systems Department of Jaume I University in Castellon (Spain). She received the BS in Mathematics from Valencia University. She worked as a consultant in an international firm and has participated in several projects related with information systems in tile enterprises. Her research interest is Enterprise Reengineering, Information Systems and Methodologies.

Reyes Grangel is an assistant professor in Computer Science in the Department of Computer Engineering and Sciences at the University Jaume I Castellón, Spain. She received the BS in Computer Engineering from the University Jaume I. She has worked in several projects of Re-Engineering and Integration tile and transport enterprises. Her Research interests include Enterprise Re-Engineering and Integration, Information Systems, Virtual Enterprise and Knowledge Management.

An Approach to Enterprise Integration

R. Chalmeta, R. Grangel, C. Campos

Knowledge and Model Driven Information Systems Engineering for Networked
Organizations: CAiSE'04 Workshops Proceedings, Grundspenkis, J.; Kirikova, M. (Eds.)

Faculty of Computer Science and Information Technology, Riga Technical University

Volum: 3, **Pàgines:** 253-256, **Any:** 2004

ISBN: 9984-9767-3-4

Index: CiteSEER 436 de 1221 (0.74%). En CORE (Australian Ranking of ICT) Nivell A

An Approach to the Enterprise Integration

Ricardo Chalmeta, Reyes Grangel, Cristina Campos, and Òscar Coltell

Universitat Jaume I, Departament de Llenguatges i Sistemes Informàtics, 12071
Castelló, SPAIN,
{rchalmet, grangel, camposc, coltell}@uji.es

Abstract. This paper describes the evolution and the results of the research work carried out by the IRIS group in the field of enterprise integration. This research work began with the ARDIN project, the aim of which was to develop and validate a step forward in the state of the art of the Reference Architectures for Enterprise Integration. The ARDIN project was focused on the internal integration of the enterprise. So, the next research activity to be conducted was to extend ARDIN to include inter-enterprise integration. Then, the IRIS group has participated in several projects in this context, like EDICER and CRM-Pyme project. Finally, the research work currently being carried out by the IRIS group is oriented towards knowledge management as a new aspect to be considered in enterprise integration.

1 The problem

To maintain and improve their competitiveness while reacting to the fast changes that take place in the opportunities and needs of the market, enterprises must adopt a kind of organisation and operations that will allow them to obtain the maximum benefits from their resources.

Therefore, an enterprise must efficiently manage all of its elements, aligning and integrating them in order to improve the ability to work together in a continuous improvement process that enables that the objectives and the strategy of the enterprise to be accomplished.

2 What has been done

In this context, the research Group in Systems Integration and Re-Engineering (IRIS) began to work on the ARDIN (Spanish acronym standing for Reference Architecture for INtegrated Development) project in 1994. The IRIS research group is a multidisciplinary group made up of faculty members from different departments at Universitat Jaume I in Castelló, Spain. The mission of the group is to establish a stable framework in which to carry out research in the fields of enterprise organisation and computer systems, working according to the condition that the goals and results of the research activities have to be always oriented towards solving the real problems facing companies and public organisations.

The objective of the ARDIN project was to develop and validate a step forward in the state of the art of the Reference Architectures for Enterprise Integration.

The IRIS group has applied the methods and techniques developed in the ARDIN project to enterprises of different sectors [2]: Tile Industry, Construction, Transport, Textile, Information Technology and Governmental.

Once the problem of the integration of a single enterprise had been solved, the next research project conducted by the IRIS group was oriented at extending ARDIN for virtual enterprise integration. Virtual Enterprise Integration means improving the performance of a temporary alliance of globally distributed independent enterprises that participate in the different phases of the life cycle of a product or service by efficiently managing the interactions among the participants. This is a very complex task that involves different approaches concerning technology, management and cultural elements.

At that point there were different proposals for enterprise integration (usually called Reference Architectures) that were very useful in applications for a single enterprise. However, they needed to be adapted to support the new requirements that appear in virtual enterprise integration.

The modifications that were made to ARDIN to help in the design and management of an efficient and flexible virtual enterprise can be synthesised in a methodology, a set of reference models of best business practices and in the design of a technological infrastructure.

Figure 1 shows the Virtual Enterprise Integration Programme that was proposed following the methodology of the extended ARDIN architecture, from a practical point of view. See [3] for further details about the extended ARDIN architecture and methodology for virtual enterprises.

In addition to the methodology, a Technological Infrastructure was also designed which makes use of the new information and communication technologies to support the smart integration of the virtual enterprise. The technological infrastructure automates the information traffic in the virtual enterprise so as to aid the cross-organisational business process.

Within this framework, part of the work was oriented towards the development of a Performance Measurement System (PMS) for virtual enterprise integration as a fundamental tool for achieving a high degree of integration [5].

The results of this research work were applied to two case studies: one from the tile sector [4] and another from the transport sector [1].

In addition, in inter-enterprise integration field, the IRIS group worked in the design and application of a methodology that described the activities and techniques required to develop (1) a tile sectoral profile for EDI messages under internationally accepted standards and (2) a set of guidelines for implementation that helps EDI to be incorporated in a quick and simple manner. This project was called EDICER.

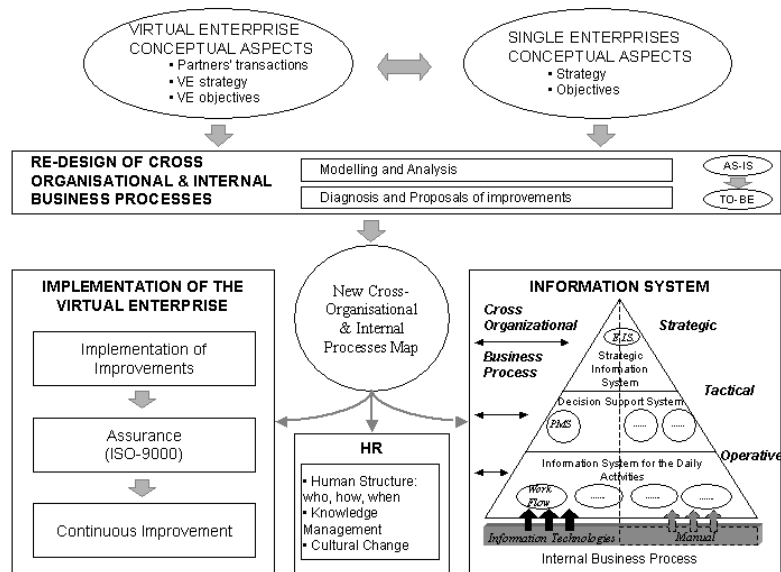


Fig. 1. Virtual Enterprise Integration Programme.

3 What is being done

One special aspect in inter-enterprise integration is the relation between the enterprises and the final customer. CRM (Customer Relationship Management) can be defined as a set of business, marketing and communication strategies and technological infrastructures that are designed to help build a long-lasting relationship with customers, which, to a large extent, is achieved by identifying, understanding and satisfying their needs. Yet CRM implementations are often unsuccessful.

To solve this problem, the IRIS group has developed a formal methodology (called the CRM-IRIS methodology) that guides the process of developing and implementing a CRM System. This methodology takes into account different aspects of a CRM system, such as the definition of a customer strategy, the reengineering of customer-oriented business processes, the administration of human resources, the computer system, change management and continuous improvement.

This methodology, together with the CRM software that was developed, was applied to 26 Spanish small and medium enterprises from different sectors as part of the CRM-Pyme project (a System of Managing Relationships with customers in SMEs; see <http://www.fue.uji.es/crm-pyme/>). The aim of this project, which began in 2003 and is about to finish, was to use the new information technologies

to identify innovative forms of organisation and of working in the relationships between small and medium-sized enterprises and their customers.

4 The future

Nowadays, the work of the IRIS group is oriented towards knowledge management as a new aspect to be considered in enterprise integration. A virtual textile enterprise collaborates with the IRIS group in the collection of data and the validation of the results.

Yet, the IRIS group's scope of action is not limited to just enterprises but also deals with other types of problems. The IRIS group is, then, beginning to work in the field of ontology by developing an ontology for the Genomic Epidemiology of Cardiovascular Diseases [6]. This work is part of the work plan of INBIOMED, a Spanish cooperative research network in Biomedical Informatics (<http://www.inbiomed.retics.net>). This network is developing a technological platform for (1) the storage, integration and analysis of clinical, genetic and epidemiological data, and (2) images supporting the research on human pathologies.

5 Conclusions

This paper has described the work being carried out by the IRIS group in the enterprise integration field. It may serve as an example to illustrate the progress that has been made in this field, as regards: the internal integration of the enterprise, taking into account activities, decisions, resources and information; the integration of the enterprise with the other participants in the value chain and more especially with customers; and finally the identification of the roles played by human resources and the knowledge they possess.

References

1. R. Chalmeta. Virtual transport enterprise integration. *Journal of Integrated Design and Process Science*, December 2000. Publisher IOS Press publishes.
2. R. Chalmeta, C. Campos, and R. Grangel. References architectures for enterprises integration. *Journal of Systems and Software*, July 2001. Publisher Elsevier.
3. R. Chalmeta and R. Grangel. Ardin extension for virtual enterprise integration. *Journal of Systems and Software*, September 2003. Publisher Elsevier.
4. R. Chalmeta and R. Grangel. Virtual integration of tile industry (viti). In *Conceptual Modeling for Novel Application Domains*, volume 2814 of the serie Lecture Notes in Computer Science. M.A. Jeusfeld and O. Pastor, October 2003.
5. R. Chalmeta and R. Grangel. Performance measurement systems for virtual enterprise integration. *Journal Computer Integrate Manufacturing*, in evaluation.
6. O. Coltell, M. Arregui, D. Corella, and R. Chalmeta. Building an ontology on genomic epidemiology of cardiovascular diseases. In *Eighth World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics*, July 2004.

Interoperability Supported by Enterprise Modelling

F-W Jaekel, N. Perry, C. Campos, K. Mertins, R. Chalmeta

On the Move to the Meaningful Internet Systems 2005 (OTM Workshops)

Springer Verlag Berlin

Volum: LNCS3762, **Pàgines:** 552-561, **Any:** 2005

ISSN: 0302-9743

Indexat /arbitrat JCR: Computer Science, Theory and Methods (0, 402; 62; 38975)

Interoperability Supported by Enterprise Modelling

Frank Walter Jaekel¹, Nicolas Perry², Cristina Campos³,
Kai Mertins¹, and Ricardo Chalmeta³

¹ Fraunhofer IPK, Pascal Str. 8-9, 10587 Berlin, Germany
{Frank-Walter.Jaekel, kai.mertins}@ipk.fhg.de

² Ecole Centrale de Nantes, IRCCyN, 1 rue de la no, 44321 Nantes, France
Nicolas.Perry@irccyn.ec-nantes.fr

³ Grupo de investigación en Integración y Re-Ingeniería de Sistemas (IRIS),
Dep. de Llenguatges i Sistemes Informàtics, Universitat Jaume I,
12071 Castelló, Spain
{camposc, rchalmet}@uji.es

Abstract. The application of enterprise modelling supports the common understanding of the enterprise business processes in the company and across companies. To assure a correct cooperation between two or more entities it is mandatory to build an appropriate model of them. This can lead to a stronger amplification of all the cross-interface activities between the entities. Enterprise models illustrate the organisational business aspects as a prerequisite for the successful technical integration of IT systems or their configurations. If an IT system is not accepted because its usefulness is not transparent to the staff members, then it quickly loses its value due to erroneous or incomplete input and insufficient maintenance. This at the end results in investment losses.

The paper exemplifies the strengths, values, limitations and gaps of the application of enterprise modelling to support interoperability between companies. It illustrates a proposal for a common enterprise-modelling framework. This framework is presented in terms of problems to face and knowledge based methodological approach to help solving them. A specific application demonstrates enterprise modelling and the synchronisation between the models as prerequisite for the successful design of Virtual Enterprises.

1 Introduction

The implementation of information systems and new organisational structures into and between companies requires discussions between different stakeholders of the enterprise (e.g. process design experts, managers, process owners, IT experts). Therefore the modelling of enterprise processes including related information systems and organisational units is an essential step in the process of changing and improving enterprise structures. The target is to achieve a common understanding of requirements of a new system. This is true for big companies as well as for small and medium size enterprises (SME). Furthermore the enterprise modelling bridges the gap in transforming process organisation of an enterprise

and the processes implemented within the IT systems. The complexity of the modelling approach increases if used across enterprise networks.

The modelling of enterprise business processes is growingly becoming a well known technique especially within big companies. Now also SMEs are forced by their customers to increase the transparency of their processes. Moreover, the need of IT support such as ERP systems increases for SMEs. The establishment of information systems within a company is a difficult task. Various applications of IT systems are not efficient because of a lacking acceptance on the user side and of deficits between the real process organisation of the enterprise and the support of the IT systems.

Experiences from industrial projects illustrate that companies which buy an IT system without a clear strategy for enterprise business process improvement and little knowledge regarding the organisational effects often fail in applying the software. Therefore, big companies as well as SMEs require a modelling approach to create an enterprise (business) process blue print for a successful implementation of IT systems. The model is oriented to and across process owners or stakeholders of operational and management departments. Consequently the description of the process structure and its relations to different resources such as organisational units, IT infrastructure, information exchange, etc. has to be easily understandable.

Enterprise modelling concerns awareness of enterprise cultural particularities. The goal is to answer the question: 'How to make different enterprise models interoperable made from different modelling methodologies languages and meta-models, modelling background and environment?'

The topic is covered by the European INTEROP [1] Network of Excellence concerned with inter-operability research for networked enterprises applications and software, its goals, rationale and early results and by the European integrated project ATHENA [2](Advanced Technologies for Interoperability of Heterogeneous Enterprise Networks and their Applications).

To address a Common Enterprise Modelling Framework definition, the first step is to establish a common base of understanding of different modelling constructs across different modelling languages that is a common modelling language such as the INTEROP UEML approach. The second step is to take into account the different ways of representing the real world within the model content, including aspects such as cultural and regional differences both in enterprise way of working but also in the way to build models, different objectives driven models and so on.

2 Models Across Organizations

2.1 Problems of Enterprise Modelling Between Companies

In the actual situation regarding enterprise modelling several modelling methods and tools are used in enterprises (Figure 1). For example, MO²GO [3] supporting the integrated enterprise modelling is preferred because of a fast and easy understandable modelling method across different stakeholders. GRAI [4] Tools

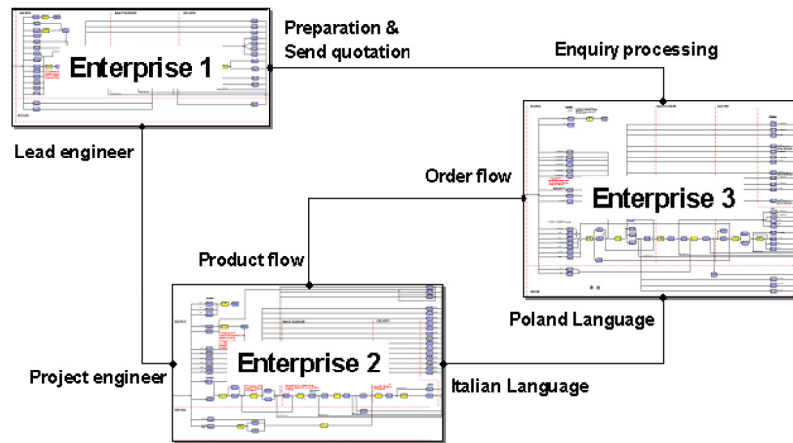


Fig. 1. Methods and Tools

are prioritised especially for modelling the decisional processes of an enterprise. ARIS [5] is popular for enterprise modelling especially in the IT domain and IT departments. METIS [6] supports a very flexible meta modelling and therefore a good adaptation of the user wishes according the modelling constructs. The information covered by these tools is similar. Therefore, to save the investment for method training and model elaboration an exchange of the information modelled within the different tools should be provided. In the first step within INTEROP this is a topic of the Unified Enterprise Modelling Language (UEML) [7].

The problem of dealing with different models does not only depend on the modelling language. The same issue might be defined in two different models with different terms (e.g. Lead engineer / Project engineer) but at the same time in a third model these terms may have another meaning. Instead of the modelling language the natural language might be hindered by an information exchange and cooperated work on the models because a translation into an interlingua e.g. English might result in misinterpretations without having a common ontology support. The perspective between two models dealing with the same information might be different e.g. order processing or product processing concerning the external interfaces of an enterprise. The structuring of the processes as well as the design of the process chains might be dissimilar e.g. the two processes 'Preparation' and 'Send quotation' could appear in another model just the process 'Enquiry processing' (Figure 2). These are some examples of the problems under consideration in the INTEROP work around synchronisation of distributed enterprise models. Further problems arise concerning the management of such distributed enterprise models. An enterprise model associated with different other models requires clear procedures of how to perform changes [8].

The intension of the paper is to motivate enterprise modelling supporting interoperability. More information regarding requirements and state of the art of enterprise modelling in the context of interoperability can be found in [9] [10] [11].

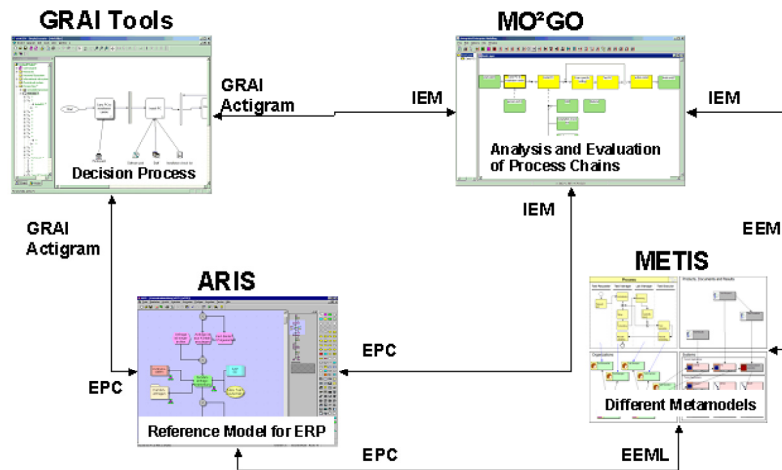


Fig. 2. Same modelling language but different understandings

2.2 Values of Enterprise Modelling

The application of enterprise modelling supports the common understanding of the enterprise business processes in the company and across companies. The company is supported to succeed in reducing the throughput times, in improving the process quality, in reducing costs and therefore in improving the customer satisfaction and competitiveness. Enterprise modelling should be the basis of the information system planning process. The use of enterprise modelling for supporting and achieving company interoperability has different motivations, for example:

- Identification of companies' potentials for acting within different cooperation.
- Enabling companies to participate within collaborations through gathering the required data from the companies.
- Clarification of the connection between the operating processes of the companies and the required IT support through the illustration of additional operations.
- Model supported coordination, composition and synchronisation of organisation structures and business processes between the companies, especially identification of the aspects which support or, what is even more important, inhibit interoperability.

3 Distributed Project Management and Models

Lean extended enterprise and build-to-order induce better integration of Product Lifecycle Management activities that go through computer-aided systems and knowledge-based information environments. This change of landmarks from

physical documents to electronics claims to redefine information support functionalities and knowledge-based tools to support worldwide project collaboration. Moreover, extended enterprises and collaborative projects have to analyse and control their core competencies to react efficiently to the market challenges (time to market, variability of products..).

The number of different enterprise concepts and complexities caused by different interpretations of these concepts encourages enterprises to standardise concepts and formalise behaviour. These efforts build re-usable and adaptable platforms and imply deep business architecture redeployments. The rapidly changing environment requires convenient collaboration and knowledge integration tools, and interoperability between different information sources. As a result, Knowledge Management has become a key facilitator in improving the global competitiveness of companies. As competitive drivers are forcing companies to innovate and change, effective knowledge management is essential to realise and also efficiently implement these changes.

To reach these goals, project management have both to integrate this expert's knowledge and the collaborative project constrains. Consequently interoperability, in terms of synchronisation problems, will occur at these two levels. We will mainly describe the first aspect assuming that a same approach can be applied for project models and alignment.

3.1 Experience Feed Back and Method Proposal

Based on experimental cases we propose knowledge based projects methodology with three phases to optimise and ensure coherent enterprise project management:

- Project infrastructure definition, defines the fundamental elements of the project (domain infrastructure). Based on a syntax/semantic approach of the project's concepts model in order to differentiate concepts. The analysis of their relationship makes the domain architecture. Concepts 'behave' differently according to their context.
- Project architecture, explains the relationships between these elements and the way they are deployed (TO BE situation) in order to measure their efficiency.
- Document generation, describing the knowledge-based application specification for the software developer.

3.2 Projects

Next the two projects that integrate this methodology are described.

Information Consolidation Tool in Order to Build Structured Knowledge-Based Information Environments. This is a French National Project [12], including 5 academic partners, an aircraft manufacturer (the client) and a CAD-CAM System developer, in which we experimented different aspects

of the distributed model management. Clear process definition, steps deliverables and objectives, concepts and working area had to be expressed. Based on the knowledge, experience and requirements of the end user, the academic works had to capture and formalize the knowledge, improve and strengthen it before specifying software functionalities. We aimed to address 'efficiency of experts to share knowledge', and, due to our project team structure, we had to experiment it between partners. Indeed, specifications or constraints are usually transmitted from one expert to the other in a global convergence. The differences between their competencies limit the global understanding of problems. Computer integration in the expertise chain aims to optimise this kind of relations and thus the use of enterprise knowledge. The main difficulty encountered is to control the complexity of information quantity and informality. A harmonisation of the work-structure will reinforce the efficient use and clearness of information.

Economical Model Integration. Software developers want to unify the four software solutions they developed independently [13]. The purpose is the cost estimation (costing) or sale price determination (pricing) in the micro-electronics field. The goal is to describe a generic economic model used for the determination of the product industrial value. Each tool answers various aspects from the silicon wafer to the finished products (electronic boards, mobile phone). The expert, distributed in different structures (production plant, design offices, buyer or seller services) had to unify parts of their costs models, their calculations rules, data inputs. The complexity relies on the fact that at different phases of the product life cycle, these software are used either by an engineer, a seller or a buyer. Consequently, their own integration of the tools in their project management is very different (objectives, information truth).

In both cases, we used a project modelling methodology supported by the MOKA supporting tool PC-Pack to build common ontology from expert documentation, the modelling tool MEGA, to perform Project Knowledge mapping with a systematic exploration, UML-like activity diagrams and UML class diagrams and time model synchronisation have been used as a possible support of these models alignment. The interest of these formalisms is that they propose a strong common syntax but let people free to rebuild their own semantic interpretation of meta-models thereby ensuring the whole project evolution in coherency with the initials objectives.

In term of model synchronisation, these two examples illustrated different distributed knowledge based projects, integrating cultural, geographical differences between partners or co-contractors. The spaces / domains comparison helps to analyse the model compliance (including model coherency, bijection, mapping of concepts, Meta model definition) and determine the synchronisation needs (this is a part of the domain infrastructure definition).

The use of a common methodology based on six core concepts (Syntax/Semantic: to give shareable modelled concepts, Infrastructure/Architecture: to define concepts and their interrelationships, Domain/Project: to represent 'AS IS' and 'TO BE' situation) helps the partners to understand each other and share models, information and requirements to perform the works. It still remains the

problem of the life of such a distributed project model, for instance how to integrate new final user requirements on the knowledge based tool that rely on different fields of expertise after the end of the specification phase, or how to manage the evolution of the initial project objectives (financial support reduction and technical adaptations for example).

4 Enterprise Modelling and Virtual Enterprises

A Virtual Enterprise is a temporary alliance of independent enterprises that come together to share resources, skills and costs, with the support of the Information and Communication Technologies, in order to better attend market opportunities. To design an efficient and flexible Virtual Enterprise that gives the appearance of being a single enterprise to customers is a very complex task [14]. A Virtual Enterprise involves a great number of organizations, usually SME, that need to closely collaborate and to be in contact in order to achieve their objectives (competitiveness, better service for their clients, etc.) in this context the use of enterprise models is a key factor became successful.

4.1 Methodology for Developing a Virtual Enterprise

In order to help the creation and management of a Virtual Enterprise, partners develop models using different Enterprise Modelling Languages and different background knowledge. These enterprise models need to be interchangeable and understandable for people involved in each enterprise and for the whole virtual enterprise. In addition, Virtual Enterprises need to update their models due to the natural evolution of business, new legal requirements, changes in the strategy of the partners, and so forth. This kind of changes can affect concepts, business, results and other aspects in enterprise models that are needed to work correctly in real time [14]. Therefore synchronisation is really important in the process of setting up a Virtual Enterprise and it becomes more critical when a Virtual Enterprise is actually running.

The methodology for the virtual enterprise integration developed by IRIS group [15] shows how to set up practices and procedures in order to integrate a virtual enterprise. This methodology proposes (1) the definition of the conceptual aspects of the virtual enterprise and of each single enterprise (mission, vision, strategy, politics, and enterprise values); (2) the redesign of the new process map (internal business processes and cross-organisational business processes that are affected by changes), according to the previously defined concepts; (3) implementation of the VE new process map.; and (4) the extension of the information system (and the technological infrastructure) to support the process map of the virtual enterprise, considering the different levels of decision and the support technology. This methodology has been applied in several projects where the adequate use of model languages and synchronisation between these models have been critical aspects to be successful.

These four points defined by the methodology are highly supported by the use of enterprise models, and consequently members in a virtual enterprise need to

collaborate and to make all their enterprise models interchangeable and moreover, interoperable and synchronized. For the successful working on and integration of a Virtual Enterprises model contents and models management is a key issue to deal with. Therefore, it is necessary to establish the condition and the bases for good enterprise enterprise model management and synchronization.

4.2 Needs for Enterprise Modelling in Virtual Enterprises

The synchronization and management of enterprise models in a Virtual Enterprise is required under several aspects (e.g. model data, responsibilities, motivation, knowledge, configuration, social aspects etc.). The connection of different and distinct enterprise models is not limited to 'technical' or modelling language problems because, for instance, the same 'enterprise process' modelled with the same modelling language under the same objectives and requirements may differ whenever modelled by different persons.

As it is mentioned in this paper several modelling methods and tools are used in enterprises, and the application of these tools and models helps to common understanding. The same necessities analysed for enterprise interoperability can be found in the integration of a Virtual Enterprise and the same solutions must be taken into account. The application of the methodology developed by IRIS group demonstrates that the correct use of models is essential integration of a Virtual Enterprise.

Clear procedures stating how to manage and synchronize such models, templates and reference models, use of reference ontologies, training about models use and guidelines for modelling processes will help to increase the acceptance, use and results of enterprise models in the developing and management of a Virtual Enterprise and consequently improves the interoperability of all of its partners.

5 Conclusions

The reflections above illustrate the need of enterprise modelling to achieve and support interoperability between organisations. The INTEROP approach of the synchronisation and management of distributed enterprise models focuses on the organisational aspects of such models e.g. the common understanding regarding modelling structures or terms given to modelling elements to express the model content [7]. The INTEROP reference cases [11] illustrate the advantage, needs and requirements for enterprise modelling regarding interoperability as well. Most of the reference cases started with a modelling phase introducing different tools and methodologies. It also illustrates that there is not any general procedure applied and the models depend on how the organisation provides the modelling activities. Moreover, the involvement of the enterprise stakeholders is different. Under these circumstances one can imagine the problem of a company (e.g. a SME supplier) which has to participate into different co-operations (e.g. Virtual Enterprises) and has to be compliant with the other enterprise models. First of all, the modelling language might be considered. The

solution could be using the INTEROP unified enterprise modelling language (UEML) approach [16] [17]. But afterwards the content of the model needs to be related to other models (structures, terms, etc.). Moreover, for achieving both compatibilities in the language and in the content (modelled information), the management of the decentralised models is required. What about changes within the model of the SME? Should they be reflected, directly, in all network models in which the SME participates? What are the results and implications of such changes?

Organizations develop models using different languages and different background knowledge. In order to achieve enterprise interoperability, it is necessary that these models will be interchangeable and comprehensible for people involved in the organization processes. The possibility of different companies to cooperate generates the necessity for models to be connected in a dynamic way. Changes in one of the models of an enterprise can affect processes, decisions and important aspects on the side of other partners. Therefore, synchronization is necessary among models from different enterprises in order to deal with changes, evolution and different views. This is a critical aspect (when models represent enterprise processes, information, organizational structures, products or decisions) for those who are closely connected to the same supply chain or to extended or virtual enterprises. methods have to be elaborated in order to support the model synchronisation and the decentralised usage of these models.

Acknowledgments

The presented research activities are partially supported by the European Network of Excellence IST-508011 'Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software' INTEROP [1] and by CICYT DPI2003-02515.

References

1. INTEROP: Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software NoE (IST-2003-508011). <http://www.interop-noe.org> (2005)
2. ATHENA: Advanced Technologies for Interoperability of Heterogeneous Enterprise Networks and their Applications) Project (IST-2003-2004). <http://www.athena-ip.org> (2005)
3. MO²GO: Website. <http://www.moogo.org> (2005)
4. GRAITools: Website. <http://www.graisoft.com> (2005)
5. ARIS: Architecture of Integrated Information Systems. <http://www.aris.org> (2005)
6. Metis: Website. <http://www.trouxmetis.com> (2005)
7. Berio, G., Mertins, K., Jaekel, F.W.: Common Enterprise Modelling Framework for Distributed Organisations. In: 16th IFAC World Congress, Prague (Czech Republic) (2005)
8. SPIDER-WIN: Supply Information Dynamic Exchange and ContRol by Web-based Interaction Network. <http://www.spider-win.de/spider-win.htm> (2005)
9. Knothe, T., et al.: UEML Public Deliverable D2.3. <http://www.ueml.org> (2003)

10. Garcia, A.B.: ATHENA Public Deliverable D.A1.1.1 Enterprise Modelling Techniques and Technologies to Support Enterprise Interoperability. <http://www.athena-ip.org> (2004)
11. Jaekel, F.W., Piddington, C., Doumeings, G.: INTEROP Public Deliverable D12.2 Deliverable 3.1. Reports on the Pilot Implementations and on the Possibility to Generalise the Methodology to Develop Take-up Actions towards SME's. <http://www.interop-noe.org> (2005)
12. Candlot, A., Perry, N., Bernard, A., Khodja, S.A.: Deployment of an Innovative Resource Choice Method for Process Planning. In: CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Florianapolis, (Brasil) (2005)
13. Perry, N., Mauchand, M., Bernard, A.: Integration of Cost Models in Design and Manufacturing. In: Advances in Design, Springer Series in Advanced Manufacturing, H. ElMaraghy and W. ElMaraghy (2005)
14. Chalmeta, R., Campos, C., Grangel, R.: References architectures for enterprises integration. *The Journal of Systems and Software* **57** (2001) 175–191 Elsevier.
15. Chalmeta, R., Grangel, R.: ARDIN Extension for Virtual Enterprise Integration. *The Journal of Systems and Software* (2003) Elsevier.
16. Berio, G., et al.: Deliverable 3.1. the UEML Project. <http://www.ueml.org> (2005)
17. Berio, G., Anaya, V., Ortiz, V.: Supporting Enterprise Integration Through a Unified Enterprise Modelling Language. In: EMOI Workshop, Riga, J. Grundspenkis and M. Kirikova (2004)

Requirements to Improve the Synchronization of Inter-Enterprise Models

C. Campos, R. Grangel, R. Chalmeta

Business Process Management- BPM 2005 Workshops, Bussler, C.; et al. (Eds.)

Springer Verlag (Berlin)

Volum: LNCS3812, **Pàgines:** 353-362, **Any:** 2006

ISSN: 0302-9743

ISBN: 3-540-32595-6

Índex: ISI Proceedings

Requirements to Improve the Synchronisation of Inter-enterprise Models

Cristina Campos, Reyes Grangel, Ricardo Chalmeta, and Òscar Coltell

Grupo de Investigación en Integración y Re-Ingeniería de Sistemas (IRIS),
Dept. de Llenguatges i Sistemes Informàtics, Universitat Jaume I,
Campus del Riu Sec s/n, 12071 Castelló, Spain
{camposc, grangel, rchalmet, coltell}@uji.es

Abstract. Virtual Enterprises have become a good organisational solution to cope with the current economic environment. A number of methodologies have been developed to assist in the creation and management of a Virtual Enterprise, using Enterprise Modelling as a useful way to enhance its performance. However, it is necessary to develop new mechanisms and methodologies to improve the interoperability and to synchronise changes among different inter-enterprise models.

In this paper, we present a definition of a set of requirements needed to synchronise enterprise models in order to improve Virtual Enterprise interoperability. The work is based on previous projects dealing with interoperability and Enterprise Modelling, like UEML or INTEROP. The requirements described in this paper were selected and analysed with the aim of adapting them to the necessities of the synchronisation of enterprise models in a Virtual Enterprise.

1 Introduction

A **Virtual Enterprise** is a temporary alliance of independent enterprises that come together to share resources, skills and costs, with the support of the Information and Communication Technologies, in order to better attend market opportunities. To design an efficient and flexible Virtual Enterprise that gives the appearance of being a single enterprise to customers is a very complex task [1].

In order to help the creation and management of a Virtual Enterprise, partners develop models using different Enterprise Modelling Languages and different background knowledge. These **inter-enterprise models** need to be interchangeable and understandable for people involved in each enterprise. In addition, Virtual Enterprises need to update their models due to the natural evolution of business, new legal requirements, changes in the strategy of the partners, and so forth. This kind of changes can affect concepts, business, results and other aspects in enterprise models that are needed to work correctly in real time. These issues are really important in the process of creation of a Virtual Enterprise but they become more critical when a Virtual Enterprise is actually running.

This paper is organised as follows. Section 2 gives a brief description of the framework in which this research work carried out. Section 3 reviews the main

concepts related to Enterprise Modelling and synchronisation. In section 4, the main results obtained in the analysis of requirements are presented and, finally, section 5 outlines the main conclusions.

2 Framework of the Work

INTEROP (Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software) is a Network of Excellence supported by the European Commission for a three-year-period. INTEROP aims to create the conditions for innovative and competitive research in the domain of Interoperability for Enterprise Applications and Software [2].

Interoperability is, from a **system-oriented point of view**, the ability of two or more systems or components to exchange information and then use that information without any special effort in either system. Moreover, from a **user-oriented point of view**, interoperability is the user's ability to successfully search for and retrieve information in a meaningful way and have confidence in the results [2].

The work presented in this paper was carried out within this framework and focused on the '**Common Enterprise Modelling Framework (CEMF)**'. One of the main objectives related to CEMF is to develop a new version of **UEML** (Unified Enterprise Modelling Language) [3] and to complete it with other facilities like the templates for mapping Enterprise Modelling Languages and mechanisms to allow Collaborative Enterprises to synchronise their enterprise models.

On the other hand, the **IRIS Group** of the Universitat Jaume I in Castelló (Spain) has been working on several projects related to Virtual Enterprise in different sectors (transport, tile industry, textile, and so forth) since 1999 [4,5,6,7]. The main aim of these projects has been to define and apply an architecture capable of supporting the design and creation of a Virtual Enterprise, as a particular case of Collaborative Enterprise. Some of the most useful results obtained have been a methodology and a set of techniques, reference models, and software applications that enable all the elements (organisational, technological, human resources, and so forth) of a Virtual Enterprise to be coordinated and integrated.

The creation and management of a Virtual Enterprise is an extremely complex process that involves different technological, human and organisational elements. Indeed, there is an extensive array of approaches and methodologies which describe the management processes for enterprise integration (Purdue Guide for Master Planning, GRAI-GIM, and so forth), Enterprise Modelling Languages (IEM, EEML, GRAI, IDEF, and so forth), and supporting Enterprise Modelling Tools (MO²GO, METIS, GraiTools, BONAPART, and so forth) for the design of enterprise models mainly for individual enterprises.

Nowadays, the group's activity is centred on extending the methodologies developed in its previous projects to include issues related to interoperability among partners of a Virtual Enterprise. Hence, this kind of enterprises present huge difficulties to interoperate and a cultural transformation is needed in order

to achieve a correct sharing of information and knowledge. The IRIS Group is also involved in INTEROP Network, especially in the work related to CEMF. In this work group one of the main contributions provided by IRIS group's members has been to define a set of requirements that can help the synchronisation of enterprise models developed by different enterprises that collaborate in order to achieve a common objective.

3 Synchronisation of Enterprise Models in Virtual Enterprises

Enterprise Modelling is defined in [8] as the art of 'externalising' enterprise knowledge, which adds value to the enterprise or needs to be shared, i.e., representing the enterprise in terms of its organisation and operations (processes, behaviour, activities, information, objects and material flows, resources and organisation units, and system infrastructure and architectures). Therefore, this art consists in obtaining enterprise models that are a computational representation of the structure, activities, information, resources, and so forth of an enterprise, government or any other type of business or organisation. Models can be descriptive and/or definitional and they can show what is and what should be. Its role should be to support the design, analysis and operation of the enterprise according to the model, in a 'model-driven' mode [9].

Enterprise Modelling can be used to better understand and improve business processes, to select and develop computer systems and so on, but the most important benefit of enterprise models is their capacity to add value to the enterprise [8]. Such models are able to generate explicit facts and knowledge which can be shared by users and different enterprise applications in order to improve enterprise performance. However, these models are developed with different Enterprise Modelling Languages and integrating them is a complicated task, since tools for exchanging models created with different languages do not exist [2,3,10,11].

UEML [3] can help to achieve the exchange of enterprise models among several organisations, but a synchronisation among models is also necessary in order to deal with evolution and different views in these models. Synchronisation can be defined as the adequate temporal coordination of two or more systems or organisations that have a business relation, in order to optimise the integration of their processes.

Synchronisation of enterprise models is needed when these models represent activities which offer results that affect and condition the performance and results of other enterprises or systems. This is a critical aspect when models represent enterprise processes, information, organisational structures, products, decisions and knowledge that are closely connected, as is the case for example in a Virtual Enterprise.

Moreover, enterprise models must change and evolve if they are to be useful throughout the whole life cycle of the Virtual Enterprise. Model evolution and changes must be performed in accurate time and taking into account all the

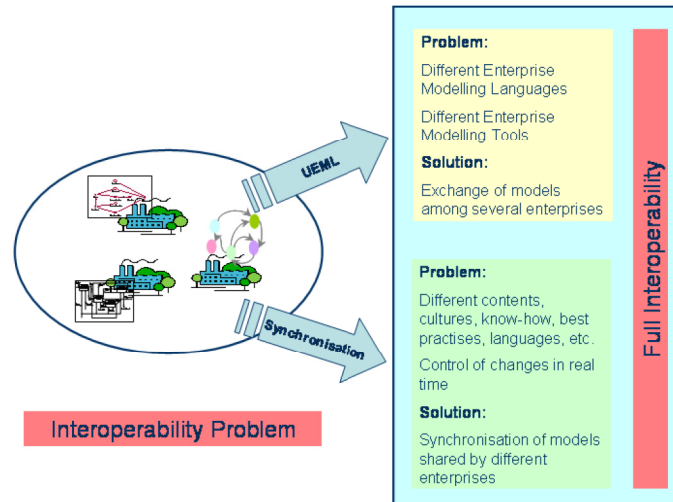


Fig. 1. Interoperability problem among different enterprises at the modelling level

aspects and possible partners affected by the modifications. This solution must be supported by an adequate synchronisation (see Fig.1).

In this paper, we have defined and analysed a set of requirements that are necessary for the synchronisation of enterprise models in a Virtual Enterprise. In order to classify these requirements we have taken into account:

1. The work developed in the group '**Synchronisation of Different Distributed Enterprise Models**' in INTEROP [12], where the requirements were classified as: (a) consistence of models, (b) model maintenance and flexibility adaptation in a distributed environment, (c) security of model management, (d) decisional and social aspects, (e) extraction of knowledge represented in different models, (f) federated analysing, (g) evaluation and simulation of enterprise models across the company borders, (h) model design procedures, and (i) model evaluation procedures.
2. The characteristics, structures, and objectives of **Virtual Enterprises**, different companies with different department structures and different policies but with a common objective.
3. The results and experience obtained from the different **projects developed on Virtual Enterprises** by our research group.

The classification proposed in order to analyse a first set of requirements has been simplified to four main categories: organisational and decisional category, ontological category to deal with concepts and contents, technological category, and modelling language category. The aim of defining this classification has been to organise the fields to study and to better analyse the main necessities in a Virtual Enterprise.

4 Requirements for Synchronisation of Virtual Enterprise Models

In defining and analysing the necessities for a complete synchronisation of enterprise models in Virtual Enterprises, no requirements about **Modelling language category** have been considered, taking into account that UEML solves transformations and mappings among Enterprise Modelling Languages. The following tasks were developed in order to define a set of requirements to synchronisation of enterprise models in the Virtual Enterprise:

- **Review of requirements defined for UEML** that were considered to be outside the scope of the UEML Project [3]. Some of them are related to the capacity of enterprises to collaborate and to synchronise their models.
- **Review of other approaches and projects** [13,14,15] that deal with problems that can be solved by means of synchronisation of models or that use this issue as part of the solution proposed.
- **Addition of new requirements** considering particular aspects and characteristics of a Virtual Enterprise.

Regarding the issues considered and defined in the previous section, the requirements were organised in the following categories (see Fig. 2):

- **Organisational and Decisional category:** partners that make up a Virtual Enterprise have common objectives and share enterprise models that are connected to each others. These connexions must be identified and controlled by establishing a suitable form of synchronisation. When a partner needs to modify a process that affects other processes from other partners

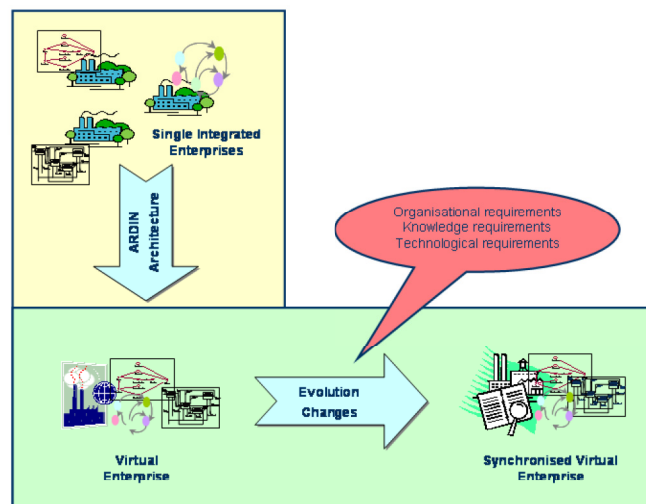


Fig. 2. Synchronisation of enterprise models in Virtual Enterprises

in a Virtual Enterprise, some criteria about how to deal with these changes and when are needed. Changes can affect different organisations in a Virtual Enterprise and all of them must agree to update these models, it could therefore become a decisional problem. Thus, requirements about organisational and decisional aspects have to be defined (see Table 1).

- **Ontological category:** distinct enterprises have different notations, concepts and levels for naming any aspect that is modelled. Each of the partners can be from a different industrial sector, or can be in a different position (i.e. supplier or customer) in the Virtual Enterprise; people from each company have diverse backgrounds and knowledge and what should be more frequent, a different notation or vocabulary. Therefore, it is essential to define requirements that will help to define a common conceptual framework that allows models to interoperate (see Table 2).
- **Technological category:** each partner in the Virtual Enterprise, even if using the same Enterprise Modelling Tools, could represent its processes using different levels of detail, precision, and so forth. To establish what is needed to deal with correct models from a technological point of view will be needed (see Table 3).
- **Modelling language category:** this aspect will not be taken into account in this paper. Although it is an important issue to establish a good synchronisation of inter-enterprise models, the requirements needed to solve this problem are considered in the UEML Project [3].

The requirements for each of these categories are presented in Tables 1, 2, and 3. These requirements are based on a Virtual Enterprise where partners need to share enterprise models in order to establish flexible and effective cooperation through the synchronisation of these models. A basic situation could be as follows: an enterprise A needs to update part of its models that are connected to other models in enterprise B, and the changes produced in models in enterprise A affect models in enterprise B.

4.1 Organisational and Decisional Requirements

Enterprises involved in a Virtual Enterprise must develop procedures to define different levels of models. The main goal is to establish a correct organisational policy for introducing new versions of enterprise models. This category should define whether the changes can be assumed automatically by all the members of the Virtual Enterprise or if they need previous discussions and agreements. In this case, semiautomatic or manual procedures must be developed to guarantee the correctness of the synchronisation process. The requirements related to establishing this kind of procedures are shown in Table 1.

On the other hand, employees' participation in the synchronisation process is required to assure its success. Therefore, setting up a work group with people from all the partners in the Virtual Enterprise can be useful to evaluate and make decisions about the evolution of enterprise models in a synchronised way. This group will work together and be in contact throughout the entire life cycle

Table 1. Requirements in organisational and decisional category

Requirement	Description
To define procedures and mechanisms to allow sharing of models between enterprises	Procedures for managing common parts or parts of models in a Virtual Enterprise are necessary to be in a position to make better decisions about changes
To detect model changes that affect models of other enterprises	Any change in a model of enterprise A that affects models or processes modelled in enterprise B has to be detected
To generate the description about required model changes	When a change in a model of enterprise A is produced, information about models affected in enterprise B also has to be generated
To define procedures and mechanisms for enterprise B to confirm or reject model changes. Any change in one of the components of a Virtual Enterprise has to be notified	Changes can be accepted or not, depending on whether the change is compulsory for all partners of the Virtual Enterprise. For instance, strategic aspects must be analysed before implementing the change
To define security levels	It is necessary to define different security levels for users who can maintain models and make decisions about them

of the Virtual Enterprise, and one of the main benefits will be the ongoing communication that will help to make decisions.

4.2 Ontological Requirements

One of the main aspects that must be supported by synchronisation of enterprise models is the sharing of concepts, notations and meanings. Therefore, the definition of one ontology that gives support to all these aspects is really important in Virtual Enterprise in order to achieve a real synchronisation at the modelling level. The requirements related to ontological aspects are described in Table 2.

Synchronisation of models deals mainly with the content of a model and not with modelling languages. Therefore, it is related to ontological issues i.e. semantics of the models. Results obtained in recent works on ontologies and semantic enrichment of enterprise models should be analysed in order to be studied and included in this category of requirements.

4.3 Technological Requirements

As regards the technological level, the easiest solution would be for all the partners in a Virtual Enterprise to adopt the same Enterprise Modelling Tool to develop their models. This is the solution proposed in the ARDIN Architecture [6], where a common platform is defined for using by the partners, but this is not always possible due to several reasons.

Table 2. Requirements in ontological category

Requirement	Description
To maintain information consistence between models	One of the main issues to be dealt with is the information shared between models. Concepts and names must be consistent and must always keep the same meaning
To define common concepts in order to adapt and connect models in a Virtual Enterprise	When some enterprises decide to cooperate in a Virtual Enterprise, it is necessary to define a common framework in order to define concepts and knowledge that can be shared and used
To define mappings	It is necessary to establish correspondences between concepts that can be explained and understood in different ways

Table 3. Requirements in technological category

Requirement	Description
To provide different levels of automation for model updates	When some enterprises decide to cooperate by exchanging their enterprise models, they need a mechanism to define a priori different levels of model updates: manual, semiautomatic or automatic. Some changes can be obviously considered in any model but others would need analysis and decisions
To provide control of versions and changes	Regarding models that can change and affect different elements of the Virtual Enterprise, controlling different versions correctly is fundamental
To provide a standard exchange format with which to exchange models	For example, the use of XML to enable the exchange of models
To promote the use of homogeneous tools to improve and help synchronisation in a Virtual Enterprise	Tools can also help in version control, the use of homogeneous tools is an important decision that will improve synchronisation and model changes
To make easy concurrent access to models	To enable sharing of the same model between different users in real time

In any case, if distinct partners use different Enterprise Modelling Tools, these tools need to have export and import utilities to enable the exchange of enterprise models. Although, this kind of utilities is not enough, and more facilities and functionality are required in this kind of tools in order to achieve a complete synchronisation of enterprise models. The set of requirements related to this technological aspect are detailed in Table 3.

5 Conclusion

Virtual Enterprises need to develop mechanisms in order to interoperate throughout their entire life cycle. This interoperability can be reached thanks to the implementation of a good methodology for the design and creation of the Virtual Enterprise and well defined procedures that allow the collaboration to be maintained. One of the main questions to help these methodologies and procedures is the use of inter-enterprise models. But enterprise models must be updated in order to show any change or modification carried out in the Virtual Enterprise or in any of its partners. Synchronisation of enterprise models is, therefore, an important issue for the success of Virtual Enterprises and developing well defined procedures to achieve this model synchronisation will be an important aspect to be considered in the evolution of this kind of enterprises.

How changes in models or in the processes represented by these models, can be detected in order to synchronise them with other models in the same Virtual Enterprise, and how the models can be updated taking into account decisional aspects from all the partners involved in the Virtual Enterprise are some of the questions answered by the set of requirements proposed in this paper. This is a first step to achieve a good synchronisation of inter-enterprise models in a Virtual Enterprise and the future work is going to improve and to enlarge the definition of the requirements in order to identify more necessities and to better evaluate them.

Acknowledgments

This work was funded by CICYT DPI2003-02515. It is also partially supported by the European Commission within the 6th Framework Programme by INTEROP NoE (IST-2003-508011, [2]). The authors are indebted to WP5.

References

1. Bernus, P., Nemes, L.: Organisational Design: Dynamically Creating and Sustaining Integrated Virtual Enterprises. In Chen, H.F., Cheng, D.Z., Zhang, J.F., eds.: Proceedings of IFAC World Congress. Volume A., Elsevier (1999) 189–194
2. INTEROP: Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software NoE (IST-2003-508011). <http://www.interop-noe.org> (2005)
3. UEMML: Unified Enterprise Modelling Language Project (IST-2001-34229). <http://www.ueml.org> (2005)
4. Chalmeta, R.: Virtual Transport Enterprise Integration. *Journal of Integrated Design and Process Science* **4** (2000) 45–55 Publisher IOS Press publishes.
5. Chalmeta, R., Campos, C., Grangel, R.: References architectures for enterprises integration. *The Journal of Systems and Software* **57** (2001) 175–191 Elsevier.
6. Chalmeta, R., Grangel, R.: ARDIN extension for virtual enterprise integration. *The Journal of Systems and Software* **67** (2003) 141–152 Elsevier.
7. Chalmeta, R., Grangel, R.: Performance measurement systems for virtual enterprise integration. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* **18** (2005) 73–84 Taylor & Francis.

8. Vernadat, F.B.: Enterprise Modeling and Integration: Principles and Applications. Chapman and Hall (1996)
9. Fox, M.S., Gruninger, M.: Enterprise Modelling. *AI Magazine* **19** (1998) 109–121
10. ATHENA: Advanced Technologies for interoperability of Heterogeneous Enterprise Networks and their Applications) Project (IST-2003-2004). <http://www.athena-ip.org> (2005)
11. IDEAS: IDEAS (Interoperability Development for Enterprise Application and Software) Project. <http://www.ideas-roadmap.net> (2005)
12. Jaekel, F.W., Perry, N., Campos, C., Dassisti, M.: Deliverable D5.2: Description of Objectives, Requirements and Scenarios for Synchronisation of Different Distributed Enterprise Models Including Benefits and Gaps. <http://www.interop-noe.org> (2005)
13. MISSION: Modelling and Simulation Environments for Design, Planning and Operation of Globally Distributed Enterprises. <http://www.ims-mission.de/> (2005)
14. Opdahl, A.L., Sindre, G.: Facet Modelling: An Approach to Flexible and Integrated Conceptual Modelling. *Information Systems* **22** (1997) 291–323
15. SPIDER-WIN: SuPply Information Dynamic Exchange and contRol by Web-based Interaction Network. <http://www.spider-win.de/spider-win.htm> (2005)

Using UML Profiles for Enterprise Knowledge Modelling

R. Grangel, C. Campos, R. Chalmeta

Eleventh International IEEE EDOC Conference Workshop (EDOCW'07)

IEEE (USA)

Pàgines: 125-132, **Any:** 2007

ISSN: 1541-7719

ISBN : 978-1-4244-4226-3

Using UML Profiles for Enterprise Knowledge Modelling

Reyes Grangel, Ricardo Chalmeta, Cristina Campos
Grupo de Investigación en Integración y Re-Ingeniería de Sistemas (IRIS)
Dept. de Llenguatges i Sistemes Informàtics
Universitat Jaume I
12071 Castelló, Spain
grangel@uji.es

Abstract

Knowledge representation is a multidisciplinary subject that needs to apply theories and techniques from logic, ontology and computation. There are a great number of languages able to represent knowledge, among them UML can be considered a suitable language for modelling knowledge. It could be included within the category of visual languages for knowledge representation.

On the other hand, numerous efforts are being carried out in the context of Enterprise Modelling to improve the capacity of enterprise models for externalising enterprise knowledge. The Proposal presented in this paper combines both approaches, UML and Enterprise Modelling, in order to make possible Enterprise Knowledge Modelling using UML. It shows a summary of this Proposal describing its principles, the main steps of its development and an example of one of the UML Profiles implemented with the objective of modelling knowledge.

1 Introduction

In [1], it is stated that knowledge representation is a multidisciplinary subject that needs to apply theories and techniques from **logic** to provide a formal structure and rules of inference; **ontology**, to define the types of things that exist in the application domain; and **computation**, to support the applications that distinguish knowledge representation from pure philosophy. Moreover, according to [2], there is no single best theory or language for knowledge representation; rather, it is necessary to choose the technique(s) that can be best adapted for each kind of knowledge (procedural, declarative, metaknowledge, heuristic, etc.). The traditional **techniques used in Artificial Intelligence** for knowledge representation are the following [2]:

- **Object-Attribute-Value-Triplets:** these are used to

represent facts about objects and their attributes; they state the value of an attribute of an object.

- **Uncertain Facts:** this is an extension of the previous O-A-V technique to allow uncertainty of facts to be described.
- **Fuzzy Facts:** these represent uncertainty using the imprecise and ambiguous terms of the natural language.
- **Rules:** these relate one or more premises or situations to one or more conclusions or actions.
- **Semantic networks or concept maps:** these attempt to reflect cognition (following the psychological model of the human associative memory) by means of graphs that include objects, concepts and situations for a specific domain of knowledge.
- **Frames:** these represent stereotypical knowledge of certain concepts or objects.
- **Ontologies:** these represent a set of knowledge terms, including the vocabulary, the semantic interconnections and some simple rules of inference and logic, from a particular topic.

These knowledge representation techniques are supported by different **knowledge representation languages**, which are used to represent knowledge in a Knowledge Management System (KMS). A knowledge representation language should be able to represent entities, events, actions, processes and time from syntactic and semantic points of view. An overview of the existing paradigms is given in [2]: (1) Logic-Based Representation Languages, (2) Frame-Based Representation Languages, (3) Rule-Based Representation Languages, (4) Visual Languages for Knowledge Representation, (5) Natural Languages and Knowledge Representation, and (6) Ontology Knowledge Representation. In the fourth category, UML

is pointed out as being a suitable language for knowledge representation, even though it was originally developed for the software engineering domain. This is one of the starting points for the research shown in this paper.

On the other hand, the second is **Enterprise Modelling** defined as the externalisation and expression of enterprise knowledge [3], which provides a holistic view of an enterprise and considers all its dimensions, i.e. process, decision, information, behaviour, resources and so forth [4]. Both, UML and Enterprise Modelling, are the basis of the Proposal presented in this paper to model Enterprise Knowledge.

The paper is organised as follows. **Section 2** outlines the analysis of the state of the art related to the basis of the Proposal, the main problems in the context of Enterprise Modelling and existing UML approaches to model enterprises and knowledge. In **section 3**, the Proposal for Enterprise Knowledge Modelling using UML, and one of the UML Profiles implemented are presented. Finally, **section 4** outlines the main conclusions.

2 Background for Enterprise Knowledge Modelling

According to [5] enterprise knowledge can be seen as information made actionable in a way that adds value to the enterprise. Taking this context into account, we defined **enterprise knowledge** as the network of connections among data and information that gives the people involved in an enterprise an insight into its workings and enables them to act and to make decisions that add value to the enterprise [6]. In the sections that follow, an overview of Enterprise Modelling and UML are presented, taking into account the main problems and approaches related to Enterprise Knowledge.

2.1 Enterprise Modelling Framework

Enterprise Modelling has been used for a long time to select and develop computer systems, to better understand and improve business processes, to support decision-making, for example [3, 7, 8]. Many languages, standards, methodologies and tools for Enterprise Modelling have emerged since the 70s, when the first concepts of modelling were applied to computer systems (E/R Model, DFD, and so forth), and modelling concepts and techniques are now applied not only to information systems but to the whole enterprise [7].

Nowadays, there are a great number of languages, standards, methodologies and their corresponding tools, such as GRAI [9], IEM [10], MEML [8], or IDEF [11], which are classified as **traditional Enterprise Modelling Languages (EMLs)** in [12]. These EMLs cover different dimensions of the enterprise defined in GERAM [13] and they can even

overlap. Moreover, other **EMLs** exist that have been **created in order to make different kinds of exchanges easier**, since interoperability problems are increasing among systems that use different EMLs [14]. This last category could also be considered to be EMLs, and, among them UEML¹ [7, 17] and POP*² [19, 20] provide common exchange formats to smooth the exchange of enterprise models at a horizontal level. Finally, another category is made up of the **EMLs that are based on standards** such as XML or UML, and they can be used as EMLs [12].

Therefore, taking into account that the problem of interoperability is being solved by initiatives like UEML and POP*, the most important benefit of enterprise models is their capacity to add value to the enterprise. This is due to the fact that such models are able to make facts and **knowledge explicit** so that they can be shared by users and different enterprise applications in order to improve enterprise performance [3, 7, 8]. One of the tasks that has still to be solved in this domain is how to achieve dynamic, interactive enterprise models that are capable of capturing enterprise knowledge and making it explicit [21].

On the other hand, one of the main weaknesses of Enterprise Modelling is the lack of strong links between enterprise models and **software generation**. For these reasons, some enterprises, especially Small and Medium Enterprises (SMEs), implement few enterprise models and, if they do, it is very hard for them to maintain them or to use them to generate software [12]. One solution, as pointed out in [22], is that the role of enterprise models should be that of facilitating the design, analysis and operation of the enterprise according to models, i.e. it should be driven by models (model-driven). Nowadays, the model-driven approach is followed by numerous projects such as MODELWARE [23], ATHENA [18], and INTEROP [16] in the European Union, and Model Driven Architecture (MDA) [24, 25], which is carried out by the OMG.

MDA is an emerging paradigm, which was defined and adopted by the OMG in 2001, to promote the use of models and their transformations as a fundamental way of designing and implementing different kinds of systems. This architecture thus defines a hierarchy of models from three levels of abstraction: the Computation Independent Model (CIM), the Platform Independent Model (PIM), and the Platform Specific Model (PSM) [25]. A lot of work is being carried out within the OMG framework in relation to PIMs, PSMs, and so forth, but the characterisation of CIMs and the features that an enterprise model must satisfy in order to be considered a CIM and generate appropriate software

¹Unified Enterprise Modelling Language, first developed by the UEML Thematic Network [15] and currently being worked on by INTEROP NoE [16].

²Acronym of the different enterprise dimensions: Process, Organisation, Product, and so on (represented by a star), proposed by ATHENA IP [18].

are still in progress [12]. The main problem involved in modelling enterprises at the CIM level is how to accomplish a clear definition of the various aspects that the actors want to take into account. The domain and purpose of modelling, together with the aspects that must be highlighted, should be defined, and then the most suitable EML should be chosen [26]. Therefore, the number of issues that can be modelled at the CIM level increases the complexity of CIM models and their transformations, especially when the final aim is to capture enterprise knowledge.

2.2 UML for Enterprise Knowledge Modelling

The **Unified Modeling Language (UML)** has become a standard visual language for object-oriented modelling that has been used successfully for modelling information systems in very different domains [27]. However, UML is a general-purpose modelling language that can also be useful for modelling other types of systems such as, for example, an enterprise [28, 29]. Other works, such as [30], point out the possibility of using UML as a language for **Enterprise Modelling**, even though in [31] it is explained how and under which conditions this can be performed. However, the benefits of model-driven approaches and the new specification of UML2 provided by the OMG suggest the need to provide more practical examples for Enterprise Modelling with UML based on these recent works [32], and especially for Enterprise Knowledge Modelling. In this line, some works, like [33], has been carried out following the possibility suggested in the previous section, but this proposal is not enterprise oriented and thus it does not take into account the different enterprise dimensions for modelling [34, 13].

Furthermore, despite the fact that the weakness of the **stereotype mechanism** is pointed out in [31], the new specification of UML2 [27] provides profiles that are more complete than version 1.5 [35]. It will therefore be possible to customise UML in a better way [36]. For instance, UML provides a lot of diagrams for modelling dynamic aspects (but not for direct modelling of business processes) in a similar way to how they are represented in an IDEF diagram. Hence, business process modelling with UML is complex [37] and the use of profiles according to UML2 can make this task easier.

Taking into account the state of the problems and solutions analysed in this section, the objective of the research presented in this paper was to consider **the possibility of using UML as a knowledge representation language** on the basis of two positive factors: first, that it is a visual language which has become a standard object-oriented language and thus there are a lot of tools available on the market; and, second, that it is commonly used by engineers in enterprises for software development. To make this possible, the capac-

ity of UML 2.0 to extend the language to a specific domain was used. A UML2 Profile for Enterprise Knowledge Modelling was then defined in an attempt to achieve a common understanding within the context of Enterprise Modelling.

3 Proposal for Enterprise Knowledge Modelling

The objective of the Proposal presented in this paper is to represent Enterprise Knowledge at the CIM level and, thus, the result of using it in enterprises is a graphical model of the **Enterprise Knowledge Map**.

In general terms, this Proposal is based on Model Driven Engineering (MDE), which promotes the design and development of computer systems using different types of models built at different levels of abstraction. More particularly, it is also supported by the MDA defined by the OMG, which is an instantiation of MDE. According to this approach, the process of developing a computer system is based on the separation of the functional characteristics of the system from the details of its specification on a specific platform. Therefore, the Proposal defines a **framework for modelling enterprise knowledge on the CIM level** at two levels of abstraction, which are required due to the great complexity of this level (see Table 1):

1. **CIM-Knowledge:** this corresponds to the top level of the model at the CIM level; the enterprise is represented from a holistic point of view, thus providing a general vision of the enterprise focused on representing enterprise knowledge that will later be detailed in a local way in successive lower levels.
2. **CIM-Business:** here, the vision of enterprise knowledge is detailed by means of a representation of its business, according to three types of models, i.e. the Organisational, the Structure and the Behaviour Models.

Table 1. Proposal for Enterprise Knowledge Modeling.

Abstraction Level	Metamodel	UML Profile	Model	Diagram
CIM-Knowledge	Knowledge	UML Profile for KM	Knowledge	Blocks Ontological Knowledge
CIM-Business	Organisation	UML Profile for GM	Organisation	Goals Organisational Structure
		UML Profile for OSM		
	Structure	UML Profile for AM UML Profile for BRM	Structure	Analysis Business Rules
	Behaviour	UML Profile for BM	Behaviour	Product Resource Process Service

The Proposal follows the MDE premise as a fundamental concept together with the following principles, it is focused on **Enterprise Modelling**, since it takes into account enterprise dimensions and previous works leading to initiatives such as UEMML and POP*; and it is a **user-oriented modelling framework**, since it should be developed at the CIM level by domain experts. A summary of the Proposal with its abstraction levels, metamodels and profiles developed, as well as models and diagrams proposed for each level are shown in Table 1.

3.1 Steps for Developing the Proposal

From a technological point of view, this Proposal was implemented using the capacity of UML2 to extend a metamodel, that is to say, using a UML2 Profile. The **UML2 Profile** was defined for **Enterprise Knowledge Modelling** at the CIM level, following an MDA approach and the principles detailed above. The Profile provides the constructs needed to perform the models proposed earlier (see Table 1), and it was developed following these steps:

1. **Definition of the metamodels** shown in Table 1, with the objective of representing at conceptual levels the elements used for Enterprise Knowledge Modelling.
2. **Definition of the models and diagrams** that can be used to obtain the enterprise knowledge map. Figure 1 shows the models and diagrams defined within the Proposal by means of a Class Diagram.
3. **Definition of the UML Profile for Enterprise Knowledge Modeling**, following for each of the profiles detailed in Table 1 the steps that follows:
 - Definition of stereotypes, tagged values and constraints of the profile.
 - Extension of the metaclasses of the UML2 Metamodel.
 - Detail description of the profile.
4. **Implementation of the Profile** using a UML tool (IBM Rational Software Modeler [38] or MagicDraw [39] for example). Figure 2 shows, as an example, one of the profiles that makes up of the **UML Profile for Enterprise Knowledge Modelling**.
5. **Validation of the Profile** by means of real case study.

3.2 Discussion on the 'UML Profile for KM'

Figure 2 shows the diagram of the implemented 'UML Profile for KM' by means of the MagicDraw UML

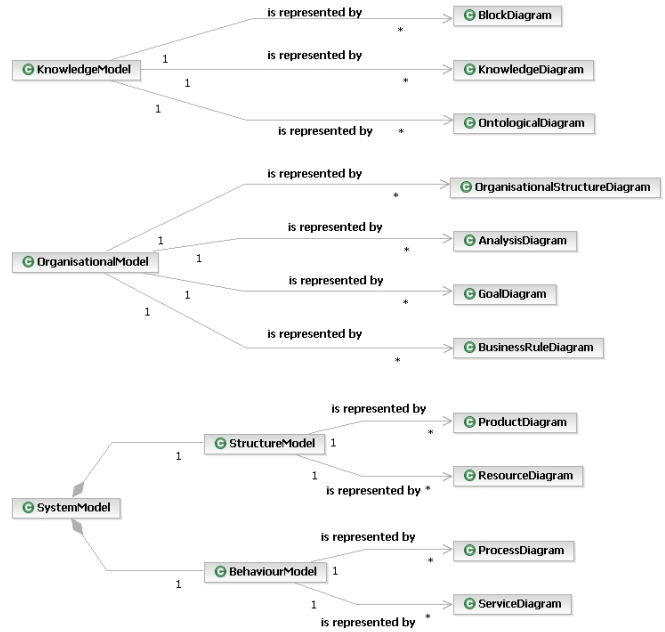


Figure 1. Models and diagrams defined within the Proposal.

2.0 [39]. In this section, some relevant comments about this UML Profile are provided, taking into account that the mapping between the constructs of the metamodel proposed to implement this Profile and the constructs of the Profile is not always one to one. The main reason is that there exist some elements that it is necessary to represent at conceptual level in the metamodel for example for a better understanding, but then again it is not needed to represent them in a specific implementation, such as stereotypes in a UML Profile.

- In the proposed metamodel the class **OntologicalCategory** has a property named **isLeaf** to indicate that one element is a leaf within the ontological hierarchy. It is necessary to add this property in the UML Profile as a tagged value, since the stereotype **OntologicalCategory** extends the metaclass **Package**, and this is not a subclass of **RedefinableElement**. In the case, that the extended class of UML2 Metamodel was the metaclass **Class**, which is a subclass of **RedefinableElement**, and therefore inherits the property **isLeaf** that has the class **RedefinableElement**, it would not be necessary to add this property.
- **KnowledgeSource** in the proposed metamodel owns two subclasses, **ExplicitSource** and **TacitSource**, therefore we could add it in the Profile as an abstract

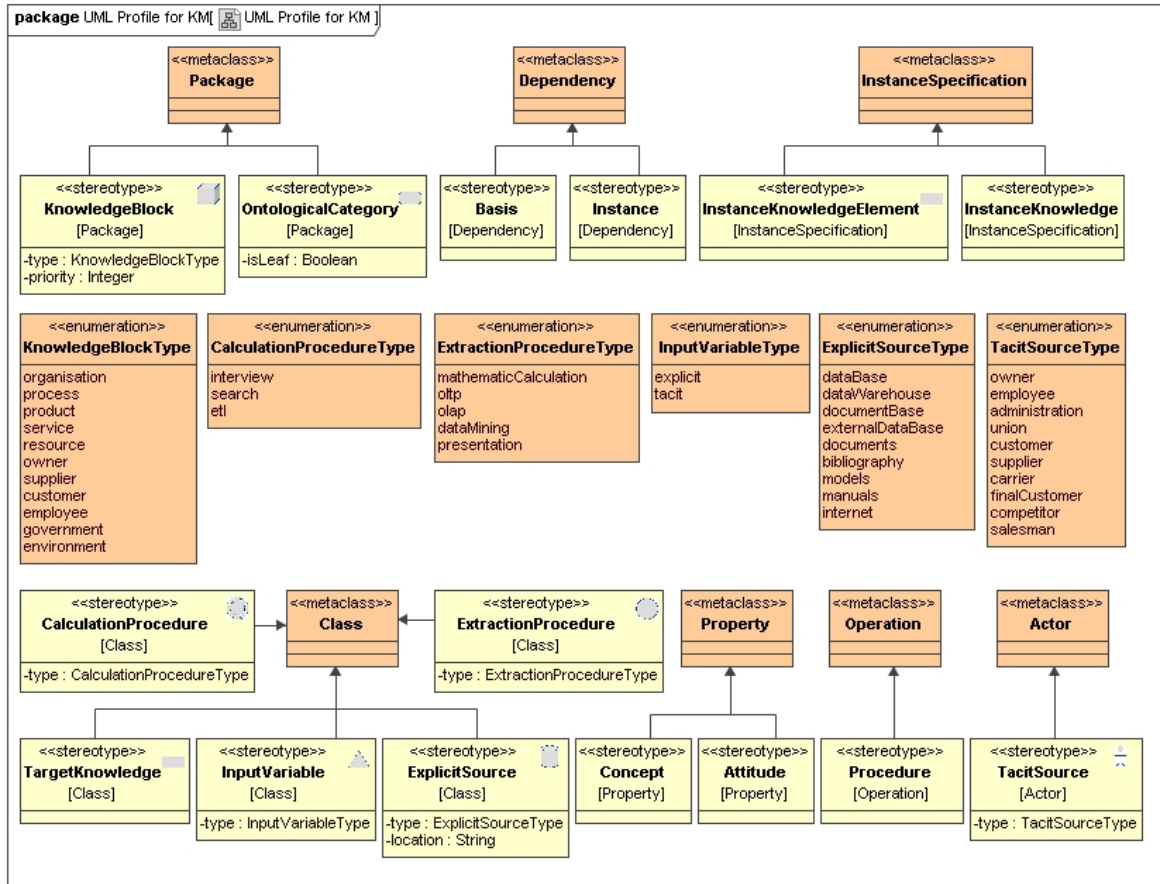


Figure 2. Diagram of the 'UML Profile for KM'.

stereotype with the aim of having a superclass of the stereotypes **ExplicitSource** and **TacitSource**, and in this way both could inherit its tagged values. However, **KnowledgeSource** has not been added as an abstract stereotype, since in this case there is not any property that we need to add as tagged value. Moreover, the two subclass in the metamodel, **ExplicitSource** and **TacitSource**, extend as you can see in Figure 2 distinct UML2 metaclasses.

- **Concept** and **Attitude** extend **Property** since they are features of the target knowledge from structural point of view, whereas **Procedure** extends **Operation** since it represents the behaviour which is needed to learn concerning an specific knowledge.
- **Basis** is added as an stereotype that extends **Dependency** in order to model the reflexive relationships that exist in the metamodel for the classes **KnowledgeBlock**, **OntologicalCategory** and **TargetKnowledge**, and also the relationships between **KnowledgeBlock** and **OntologicalCategory**, and so on. In this way, it is possible for example to represent the relationship be-

tween target knowledge or between ontological categories and target knowledge.

- **Instance** is added as an stereotype that extends **Dependency** in order to model the relationship between target knowledge and its instances. Taking into account that the stereotype **TargetKnowledge** extends the metaclass **Class**, and the stereotype **InstanceKnowledge** the metaclass **InstanceSpecification**, both elements can only be linked by means of a dependency, which has been stereotyped in this case to represent one of the main features of the Proposal presented in this paper, that is to say, the instantiation of target knowledge.

3.3 Example of Application of the 'UML Profile for GM'

Figure 3 shows as an example, one of the diagrams that it is possible to obtain using the Proposal presented in this

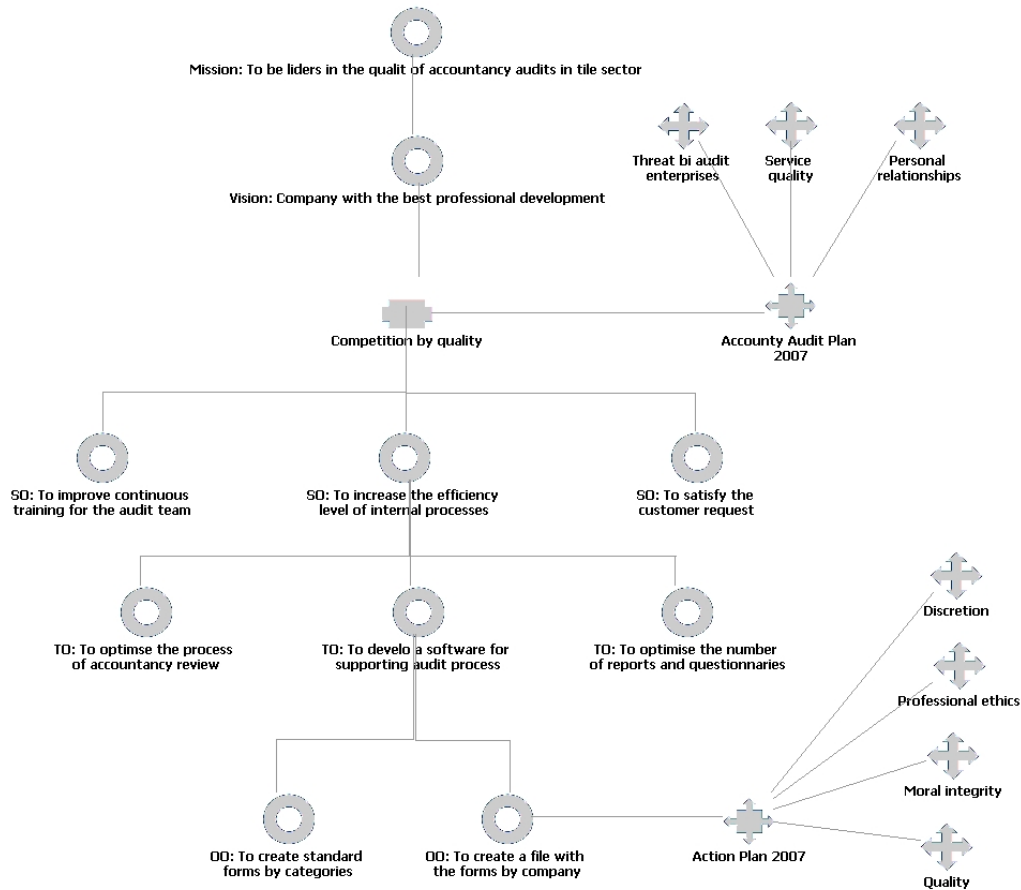


Figure 3. Goal Diagram for an audit enterprise.

paper. In particular, the diagram depicted in Figure 3 shows the **Goal Diagram** for a real case, in which is possible to notice the structure of objectives defined in an audit enterprise. This diagram is obtained using one of the UML Profiles implemented for modelling enterprise knowledge, the 'UML Profile for GM' (see Table 1).

4 Conclusion

The benefits of this Proposal with respect to other proposals for Enterprise Modelling or Knowledge Representation could be summarised as follows:

- It provides a graphical model for representing knowledge that allows employees who are not specialised in knowledge engineering to gain a better understanding of the enterprise and its operations from a knowledge point of view. This is a feature that other non-visual representation languages cannot provide.

- Regarding traditional Enterprise Modelling, this Proposal is knowledge-oriented and based on a model-driven approach in order to implement a KMS, but at the same time it takes into account traditional enterprise dimensions, such as organisation, process, product, and so forth.
- Enterprises can use a language, like UML, that is well known by engineers and is normally used to develop software. They are therefore familiar with the use of this modelling language, as well as with the corresponding development process and the tools that are currently available.
- It is possible to have a number of commercial tools at one's disposal for implementing the profile which can support the process of modelling and model management.

Acknowledgments

This work was funded by CICYT DPI2003-02515, CICYT DPI2006-14708 and the European Commission within

the 6th Framework Programme, INTEROP NoE (IST-2003-508011). The authors are indebted to TG2 [16].

References

- [1] Sowa, J.F.: Knowledge Representation. Logical, Philosophical, and Computational Foundations. Books/Cole (2000)
- [2] Gasevic, D., Djuric, D., Devedzic, V.: Model Driven Architecture and Ontology Development. Springer (2006)
- [3] Vernadat, F.B.: Enterprise Modeling and Integration: Principles and Applications. Chapman and Hall (1996)
- [4] Doumeingts, G., Chen, D.: Interoperability development for enterprise applications and software. In Cunningham, P., Cunningham, M., Fatelnig, P., eds.: Building the Knowledge Economy: Issues, Applications, Case Studies. eBusiness, IOS Press Amsterdam (2003)
- [5] Vail, E.F.: Knowledge mapping: getting started with knowledge management. Information Systems Management **Fall** (1999) 16–23
- [6] Grangel, R., Bourey, J.P., Berre, A.J.: Solving Problems in the Parameterisation of ERPs using a Model-Driven Approach. In Doumeingts, G., Miller, J., Morel, G., Vallespir, B., eds.: Enterprise Interoperability. New Challenges and Approaches, Springer, London (2007) 103–114
- [7] Petit, M.: Deliverable D1.1. Report on the State of the Art in Enterprise Modelling. Technical report, UEML (IST-2001-34229) (2002)
- [8] Krogstie, J.: Extended Enterprise METHodology, Final version 1-12-d-2002-01-0. Technical report, EXTERNAL (IST-1999-10091) (2002)
- [9] Doumeingts, G., Vallespir, B., Zanittin, M., Chen, D.: GIM-GRAI Integrated Methodology, a Methodology for Designing CIM Systems, Version 1.0. LAP/GRAI, University Bordeaux 1, Bordeaux, France (1992)
- [10] Spur, G., Mertins, K., Jochem, R.: Integrated Enterprise Modelling. Beuth Verlag GmbH (1996)
- [11] IDEF: Integrated DEFINition methods. <http://www.idef.com/> (2007)
- [12] Grangel, R., Chalmeta, R., Campos, C., Coltell, O.: Enterprise Modelling, an overview focused on software generation. In Panetto, H., ed.: Interoperability of ESA Workshops of the INTEROP-ESA International Conference EI2N, WSI, ISIDI and IEHENA 2005, Hermes Science Publishing (2005) 65–76
- [13] IFIP-IFAC: Generalised enterprise reference architecture and methodology (GERAM). Technical Report Version 1.6.3 (1999) <http://www.cit.gu.edu.au/bernus/taskforce/geram/versions>.
- [14] Chen, D., Doumeingts, G.: European initiatives to develop interoperability of enterprise applications—basic concepts, framework and roadmap. Annual Reviews in Control **27** (2003) 153–162
- [15] UEML: Unified Enterprise Modelling Language Thematic Network (IST-2001-34229). <http://www.ueml.org> (2007)
- [16] INTEROP: Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software NoE (IST-2003-508011). <http://www.interop-noe.org> (2007)
- [17] Opdahl, A.L., Henderson-Sellers, B.: A Template for Defining Enterprise Modelling Constructs. Journal of Database Management **15** (2004) 39–73
- [18] ATHENA: Advanced Technologies for interoperability of Heterogeneous Enterprise Networks and their Applications IP (IST-2001-507849). <http://www.athena-ip.org> (2007)
- [19] Ohren, O.P.: Deliverable DA1.3.1. Report on Methodology description and guidelines definition. Technical report, ATHENA IP (IST-2001-507849) Work package - A1.1 (2005)
- [20] Grangel, R., Chalmeta, R., Schuster, S., Pea, I.: Exchange of Business Process Models using the POP* Meta-model. In Bussler, C., Haller, A., eds.: BPM 2005. Volume 3812 of LNCS., Springer, Heidelberg (2006) 233–244
- [21] Lillehagen, F.M., Dehli, E., Fjeld, L., Krogstie, J., Jørgensen, H.D.: Utilizing Active Knowledge Models in an Infrastructure for Virtual Enterprises. In: PROVE. (2002) 353–360
- [22] Fox, M.S., Gruninger, M.: Enterprise Modelling. AI Magazine **19** (1998) 109–121
- [23] MODELWARE: Modeling solution for software systems Project (IST-2004-511731). <http://www.modelware-ist.org/> (2007)

- [24] Kleppe, A.G., Warmer, J., Bast, W.: MDA Explained: The Model Driven Architecture: Practice and Promise. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA (2003)
- [25] OMG: MDA Guide Version 1.0.1. Document number: omg/2003-06-01 edn. (2003)
- [26] Grangel, R., Ben-Salem, R., Bourey, J.P., Daclin, N., Ducq, Y.: Transforming GRAI Models into UML Models, a First Step to Model Driven Interoperability. In Gonalves, R.J., Mller, J.P., Mertins, K., Zelm, M., eds.: Enterprise Interoperability II. New Challenges and Approaches, Springer, London (2007) 447–458
- [27] OMG: Object management group. <http://www.omg.org/> (2007)
- [28] Eriksson, H.E., Penker, M.: Business Modeling with UML: Business Patterns at Work. J. Wiley (2000)
- [29] Marshall, C.: Enterprise Modeling with UML. Designing Successful Software Through Business Analysis. Addison Wesley (2000)
- [30] Panetto, H.: UML Semantics Representation of Enterprise Modelling Constructs. In: ICEIMT. (2002) 381–387
- [31] Berio, G., Petit, M.: Enterprise Modelling and the UML: (sometimes) a conflict without a case. In: Proc. of the 10th ISPE Int. Conf. on Concurrent Engineering: Research and applications. (2003) 26–30
- [32] Grangel, R., Bourey, J.P., Chalmeta, R., Bigand, M.: UML for Enterprise Modelling: basis for a Model-Driven Approach. In Doumeingts, G., Mller, J., Morel, G., Vallespir, B., eds.: Enterprise Interoperability. New Challenges and Approaches, Springer, London (2007) 91–102
- [33] Abdullah, M.S., Kimble, C., Paige, R., Benest, I., Evans, A.: Developing a UML Profile for Modelling Knowledge-Based Systems. In: Model Driven Architecture. Volume 3599 of LNCS., Springer, Heidelberg (2005) 220–233
- [34] Berio, G., Vernadat, F.B.: New developments in enterprise modelling using CIMOSA. Computers in Industry **40** (1999) 99–114
- [35] OMG: OMG Unified Modeling Language Specification. version 1.5 formal/03-03-01 edn. (2003)
- [36] Fuentes, L., Vallecillo, A., Troya, J.M.: Using UML Profiles for Documenting Web-Based Application Frameworks. Annals of Software Engineering **13** (2002) 249–264
- [37] Noran, O.: UML vs. IDEF: An Ontology-Oriented Comparative Study in View of Business Modelling. In: ICEIS (3). (2004) 674–682
- [38] IBM: IBM Rational Software Modeler Development Platform 6.0.1. <http://www-306.ibm.com/software/rational/> (2007)
- [39] NoMagic: MagicDraw UML 12.0. <http://www.magicdraw.com/> (2007)

A Methodological Proposal for the Development of an Interoperability Framework

C. Campos, I. Martí, R. Grangel, A. Mascherpa, R. Chalmeta

CAISE 08 MDISIS'08 - First International Workshop on Model Driven Interoperability for
Sustainable Information Systems

CEUR Workshop Proceedings Series

Volum: 340, **Pàgines:** 47-57, **Any:** 2008

ISSN: 1613-0073

A Methodological Proposal for the Development of an Interoperability Framework

Cristina Campos, Isabel Martí, Reyes Grangel, Alessandro Mascherpa, and
Ricardo Chalmeta

Grupo de Investigación en Integración y Re-Ingeniería de Sistemas (IRIS), Dept. de
Llenguatges i Sistemes Informàtics, Universitat Jaume I, 12071 Castelló, Spain
{camposc, imarti, grangel, mascherp, rchalmet}@uji.es

Abstract. The new economy and business needs lead enterprises to be interoperable in order to be competitive and sustain new market opportunities that will result from cooperation with other enterprises. Easy ways to establish business with customers and suppliers or other enterprises are needed. Within this framework various studies on how to establish interoperability among specific enterprises, supply chains and virtual enterprises, or for specific sectors, have been successfully conducted and applied. The methodological proposal described in this paper will lead enterprises to achieve an advantage situation regarding their maturity level of interoperability. It supports enterprises to be prepared to interoperate, and this aspect can be a key issue for other enterprises to select them in new businesses or new collaborative projects.

Key words: Methodology, Interoperability, Enterprise Modelling, Architecture & Platforms, Ontology

1 Introduction

Global economy, customer orientation and the rapid development of Information and Communication Technologies (ICTs) are some of the factors that have produced a new economic scenario, where information and knowledge have become strategic resources for enterprises [1]. This scenario promotes new and changing cooperation needs between enterprises from various sectors, cultures and having different organisational points of view. The collaboration is not only limited to integrated networks, supply chains, customer relationships or virtual enterprises. Enterprises expect a kind of cooperation that preserves their identity and their own and particular way of working. Within this framework interoperability will become the cornerstone to this new situation and culture, as well as a permanent research and experimentation issue.

In this paper, we present a methodology proposal of a to implement an Interoperability Framework for a particular enterprise, in which other enterprises that wish to interoperate with the it, can find the appropriate procedures, methods and tools to support their interoperability projects.

This document is divided into five sections. In Section 2, we introduce the interoperability context and include a brief description of interoperability definitions and concerns, and goals to achieve full interoperability. In Section 3, we describe what a methodology is and briefly describe some proposed methodologies for interoperability. In Section 4, we explain the methodological proposal detailed by processes, that will serve to develop the framework that will support enterprise interoperability. Finally, in Section 5, we present the conclusions reached and the future work to be done on the application and testing of the methods.

2 Interoperability Context

There are many different approaches to define **interoperability**. According to the Oxford dictionary, interoperability is the ability to operate in conjunction. The IEEE [2] defines interoperability as the ability of two or more systems or components to exchange information and to use the information that has been exchanged.

From a system-oriented point of view, interoperability is the ability of two or more systems or components to exchange information and use it without a particular effort in each system; it describes whether or not two pieces of software can work together [3]. **From a user's point of view**, interoperability is the user's ability to successfully search for and retrieve information in a meaningful way and have confidence in the results. And **from a software point of view**, it means that two systems can work together, share information and services without a especial effort, using a common syntax.

To better understand interoperability is what the research developed in this area is, it is worth to analyse this concept as compared to Enterprise Integration. To this regard, it is possible to find the definition of integration ranges in [4]. **Full integration** means that component systems are no longer distinguishable in the whole system. **Tight integration** means that components are still distinguishable but any modification on one of them may have a direct impact on the others. **Loose integration** means that a component system continues to exist on its own but can work as a component of the integrated system.

Therefore, loose integration reminds us of the concept of interoperability, where two independent pieces of software from different enterprises can work together and share information without especial effort.

There is also another way to compare interoperability with enterprise integration, if we think of the different levels of networked enterprises [5]. The way the interoperation occurs can be **integrated** when there is a standard format for all systems; it can be **unified** when there is a common meta-level structure across constituent models; and it can be **federated** when models must be dynamically accommodated rather than having a predetermined meta-model. Therefore, federated enterprises are nearer to interoperability.

These definitions are summarised and graphically represented in Fig. 1, where the lighter colour represents less integration. Enterprises with low or no integration will be closer to interoperability concerns and projects.

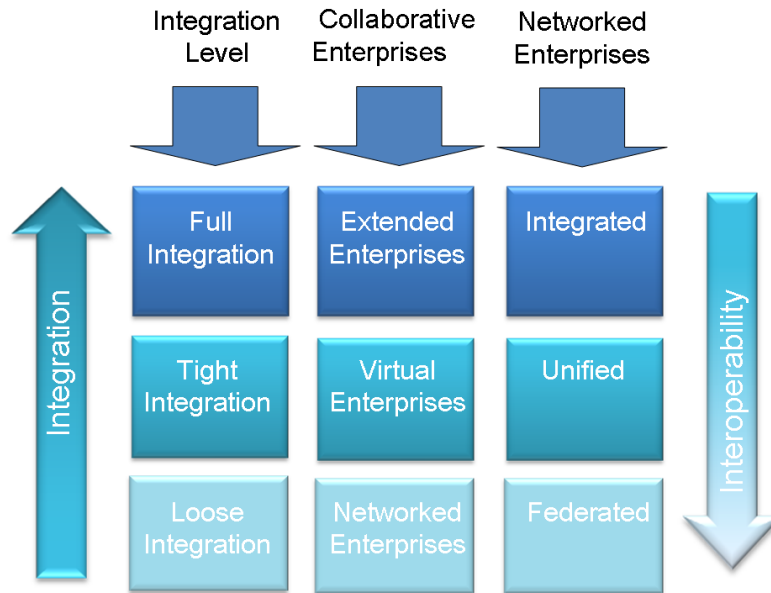


Fig. 1. Integration and interoperability levels

Interoperability is considered to be achieved if the interaction takes place, at least, in the business, knowledge and ICT layers [6]. According to INTEROP [7] there are three relevant domains to provide enterprises interoperability solutions:

- **Enterprise Modelling (EM)**: it considers how to ensure interoperability between different models. Within this framework exchange languages such as UEML¹ [9–11] and POP*² [13, 14] have been developed.
- **Architectures and Platforms (A&P)**: it takes into consideration the necessary technology to implement interoperable applications. Some A&P used in this area are supported by XML (Extensible Mark-up Language), SOA (Service Oriented Architecture) and MDA (Model Driven Architecture).
- **Ontologies (ONTO)**: they ensure that the semantics used are understandable by the two systems. In this area, several enterprise ontologies have been

¹ Unified Enterprise Modelling Language: first developed by the UEML Thematic Network [8] and later on dealt with by INTEROP NoE [7].

² Process, Organisation, Product, and other dimensions (represented by a star), proposed by ATHENA IP [12].

developed, such as TOVE which is one of the results of the TOVE Project [15]; PSL initially Process Specification Language (PSL) [16–19] based on TOVE, which is a standard for information exchange in the manufacturing industry; or the Edinburgh Enterprise Ontology (EO) [20, 21], which is a part of 'Enterprise Project', a collaborative project to provide an enterprise modelling framework for the integration of methods and tools.

In order to define a complete methodology that takes into account all interoperability aspects, it is important to define interoperability concerns and problems. In [22] the interoperability concerns are defined according to the domains.

In [23] a small number of enterprises were interviewed to know about what they needed in order to be interoperable and more specifically, about the use of EM for supporting interoperability. In [24] a set of requirements to improve the use of models to support interoperability were identified and classified. Considering all these results and according to the interoperability concerns the conditions of a good interoperability framework can be classified by domains, as follows:

- **Interoperability issues in the Strategic Business Domain:** the business strategy of each participant in the interoperability context must be defined, and therefore some questions need to be answered. To achieve interoperability the framework must cover the user's needs by taking into account policies and business and technical aspects.
- **Interoperability issues in the Operational Business Domain:** all business processes have to be modelled. The framework must therefore be defined considering different levels of knowledge and experience, for example when different regions or countries, or different industrial sectors or enterprise sizes (small, medium, large) are involved, and it must provide security and confidentiality on the information shared. Partners involved in the interoperability project must trust and feel that their contributions to the framework will not be misused.
- **Interoperability issues in the ICT Domain:** it is necessary to take into account the development issues and the execution issues. The framework needs to be easy to maintain in order to include new procedures or new concepts when new market needs emerge or new partners participate in the interoperability framework. It also needs to evolve and consider advances in communication and information technologies to support the platform.

3 Methods for Interoperability

According to the Oxford dictionary, a methodology is a system of methods used in a particular field. In the context of Software Engineering, a methodology is a collection of procedures, techniques, tools, and documentation guides that help system developers in their efforts to implement a new information system [25].

Considering the EM domain, research on interoperability has taken place as an evolution from research in the integration field. In this area the main results on methods are the **Reference Architectures** (RA) that provide the development of master planning and implementation of an 'Integrated Enterprise System' [26]. Some remarkable Reference Architectures are CIM-OSA (Open System Architecture) [27], GIM (Grai Integrated Methodology) [28, 29], PERA (Purdue Enterprise Reference Architecture) [30], GERAM (Generalised Enterprise Reference Architecture and Methodology) [31] and ARDIN (Reference Architecture for INtegrated Development) [32].

The evolution from the use of EM to support enterprise integration to the use of EM to support interoperability has been the objective of various projects such as UEML [8] and ATHENA [12]. The results, **UEML** and **POP*** are languages to support enterprise model exchange, as well as and guidelines and methods to support their use. But UEML and POP* do not fully support an interoperability project.

Other more methodologically-oriented proposals have been developed to try to solve interoperability problems. One of these examples is the **Model Driven Interoperability Method (MDI Method)** [33]. This is a model-driven method that can be used for two enterprises that need to interoperate not only at the code level but also at the Enterprise Modelling level with an ontological support and the final aim of improving their performances. The solution proposed by this method is mainly model-driven oriented, so it would be useful in specific cases that request this kind of architecture, but not in more general situations.

Another example is proposed in [34], where a repository to collect and maintain methods to support interoperability projects is defined. The goal of the repository is to provide guidelines on how to define and organise methods and techniques. The repository would allow the research community to store and search for methods to support interoperability.

Finally, there are some specific methodologies to define an interoperability framework in a business domain, like the **HARMONISE Project** [35] which defines an interoperability framework for tourism; and **ISIM** [36] that aims at covering the general interoperability needs of a large number of industrial sectors.

All these languages and methods can support partial interoperability issues, or are designed for specific projects. Other results are focused on one of the interoperability domains, like the specific Ontologies, or are focused on the management of the methods. They do not provide a general and comprehensive proposal. In order to achieve an interoperability maturity level, enterprises need a full guide to support current and future projects. The proposal presented in this paper guides enterprises process by process, when it comes to implement a framework considering all the interoperability concerns and domains.

4 Methodological Proposal for an Interoperability Framework

Considering the previous analysis on what interoperability is and what its concerns are, a good methodology for the development of an interoperability framework must be defined taking into account: (1) the different components identified in the enterprise application (processes, data/information, communication and resources), (2) the three interoperability domains (Enterprise Modelling, Architectures & Platforms, and Ontologies), and (3) enterprise business levels (strategic, tactical and operative).

In this paper we introduce a methodological approach that will be the first step in the definition of a methodology for the development of an Interoperability Framework.

4.1 Bases of the Proposal

Taking into account all the interoperability concerns and their classification as described in Section 2 an Interoperability Framework should include:

- Procedures where the partners, current and future ones, can easily find what to do to interoperate considering the EM domain.
- Policies and regulations about the use of the data and the information shared.
- Ontologies where terminology can be clarified for all the stakeholders.
- Utilities to easily establish collaborations that do not mean extra or high investments.
- A repository of specific tools and methods that can easily support the interoperability project.
- Exchange utilities and tools to communicate IT structures and platforms.

The main goal of the proposal is to define a process guide that supports enterprises to develop this framework that will promote and sustain other enterprises to interoperate with them.

The proposal is structured in five processes. For each one a brief description, goals activities, and results are defined.

In order to implement the framework the idea is to develop a web portal where potential partners would query about the procedures to be applied, the methods and tools that can be used to establish the interoperability and the ontology to support the achievement of full interoperability.

4.2 Processes of the Methodology

The processes defined range from an initial process, where the conceptual aspects and strategic requirements are identified, through design and implementation, to, finally, the use and the maintenance process that covers the needs that any engineering project will generate.

Table 1 summarises each process, the activities and the expected results. The results, as well as the activities, are defined considering the three enterprise layers (business, knowledge and ICT) and the three domains of interoperability (EM, A&P, and ONTO).

Process 1: Definition of Conceptual Aspects. The first process is focused on the identification of the main goals that an enterprise sets up to achieve by developing a framework that eases establishing interoperability with other enterprises. The conceptual aspects are defined from the top-level point of view of the enterprise and strategic aspects and long term enterprise objectives are taken into account to define why an interoperability framework is a need for the enterprise.

The activities would include a viability analysis in order to evaluate the costs of the implementation of the framework and the benefits that this project will provide in the long terms.

The result will be the definition of the interoperability goals and the enterprise strategy for interoperability, specific vision and future needs, and the evaluation of costs and benefits.

Process 2: Identification and Classification of Current and Future Interoperability Situations. The identification of current and potential partners must be based on the goals defined in the previous process. New aspects can be added in the previous results, when specific partners are analysed.

For each of these sets of partners and situations, it is necessary to identify domains involved in the interoperability, areas and processes, policies and current tools used to support the own enterprise's processes and the detail level. Each potential interoperability situation will promote different problems to be solved. A first approach in order to define these problems and risks can be assumed from the classification of interoperability problems in [22]. The main results will be:

- A classification of current and potential partners.
- Identification of interoperability situations and assessment of their viability.
- The development of procedures to carry out for each of the situations.
- Reference Enterprise Models to represent the business processes that are involved in each of the interoperability situations.
- A first definition of ontological needs.

Process 3: Design of Procedures and Platform. This process will include the design of user procedures, business processes, data bases, and specific platforms for each of the situations identified in **Process 2**, taking into account the three domains and the three enterprise levels.

1. Definition of external user procedures: how an enterprise can use this framework in order to be an interoperability partner. Commercial and business agreements and other organisational aspects must be included. (EM)

2. Design of References Models and identification of the parts of these models that can be public to support interoperability with various potential enterprises. (EM)
3. Selection of the ontology tool and ontology design. (O)
4. Design of specific data bases including the shareable data. Design of suitable data exchange interfaces to support automatic data exchange. (A&P, O)
5. Selection of communication exchange areas and protocols. (A&P)

Process 4: Implementation of the Interoperability Framework. Taking into account the design results from the previous process, the platform to support the interoperability framework must be implemented. In this process technologies available must be evaluated and the viability study must be considered.

The framework will be implemented as a web portal with restricted access to partners, who must establish an agreement on the use of the platform contents and future interoperability concerns. The portal must fulfil the needs of information, procedures, tool repositories and an ontology platform.

As a final activity an experimental partner must test the platform in order to validate and verify its use before the final version.

Process 5: Use & Maintenance. The use of the platform will provide feedback in order to improve and to enlarge the interoperability situations and requirements. New conceptual aspects may appear, new ontological concepts must be added or reviewed and new techniques, tools and EMLs will be proposed to improve the framework.

5 Conclusions and Future Work

The methodological proposal developed in this paper will guide enterprises to create utilities and procedures that will support and encourage other enterprises to interoperate with them. The implementation of a portal where other potential business partners can find strategic, organisational and tactical guides to promote and ease new interoperability projects will increase the benefits and the successful results of all the enterprises involved. This framework will be a competitive advantage when new market opportunities arise.

The methodological proposal will support the interoperability projects taking in account all the domains and concerns established for the project: EM, A&P and ONTO.

Therefore engineers involved in the project must also consider specific processes and objectives of the enterprise. To this regard the project may pay more attention to on of the domains or enterprise layers. New activities may be added to customise the framework in accordance with particular objectives, requirements or businesses. Future work will be focused on the use of the proposal in order to implement the framework in a particular enterprise. This will allow us to test its applicability and to improve the proposal with new requirements and concerns.

References

1. Kalpic, B., Bernus, P.: Business Process Modelling in Industry-The Powerful Tool in Enterprise Management. *Computers in Industry* **47** (2002) 299–318
2. IEEE: IEEE Standard Computer Dictionary: A Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries. Institute of Electrical and Electronics Engineers. (1990)
3. Ducq, Y., Chen, D., Vallespir, B.: Interoperability in Enterprise Modelling: Requirements and Roadmap. *Advanced Engineering Informatics* **18** (2004) 193–203
4. Vernadat, F.: Interoperable Enterprise Systems: Principles, Concepts, and Methods. *Annual Reviews in Control* **31** (2007) 137–145
5. Chen, D., Doumeingts, G.: European Initiatives to Develop Interoperability of Enterprise Applications-Basic Concepts, Framework and Roadmap. *Annual Reviews in Control* **27** (2003) 153–162
6. Chen, D., Doumeingts, G.: Basic Concepts and Approaches to Develop Interoperability of Enterprise Applications. In Camarinha-Matos, L.M., Afsarmanesh, H., eds.: PRO-VE. Volume 262 of IFIP Conference Proceedings., Kluwer (2003) 323–330
7. INTEROP: Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software NoE (IST-2003-508011). <http://www.interop-noe.org> (2008)
8. UEML: Unified Enterprise Modelling Language Thematic Network (IST-2001-34229). <http://www.ueml.org> (2008)
9. Berio, G., Opdahl, A., Anaya, V., Dassisti, M.: Deliverable DEM 1: UEML 2.1. Technical report, INTEROP-DEM (2005)
10. Opdahl, A., Henderson-Sellers, B.: A Template for Defining Enterprise Modelling Constructs. *Journal of Database Management* **15**(2) (2004)
11. Opdahl, A., Henderson-Sellers, B.: Chapter 6. Template-Based Definition of Information Systems and Enterprise Modelling Constructs. In: *Ontologies and Business System Analysis*. Idea Group Publishing (2005)
12. ATHENA: Advanced Technologies for interoperability of Heterogeneous Enterprise Networks and their Applications IP (IST-2001- 507849). <http://www.athena-ip.org> (2008)
13. Ohren, O.P.: Deliverable DA1.3.1. Report on Methodology description and guidelines definition. Technical report, ATHENA (Advanced Technologies for interoperability of Heterogeneous Enterprise Networks and their Applications) Project (IST-2003-2004) (2005)
14. Grangel, R., Chalmeta, R., Schuster, S., Peña, I.: Exchange of Business Process Models using the POP* Meta-model. In Bussler, C., Haller, A., eds.: *BPM 2005*. Volume 3812 of LNCS., Springer, Heidelberg (2006) 233–244
15. Project, T.: TOVE. <http://www.eil.utoronto.ca/enterprise-modelling/tove> (2007)
16. Bock, C., Gruninger, M.: PSL: A semantic domain for flow models. *Software and Systems Modelling Journal* **4** (2005) 209–231
17. Cheng, J., Gruninger, M., Sriram, R.D., Law, K.H.: Process Specification Language for project scheduling information exchange. *International Journal of IT in Architecture, Engineering and Construction (IT-AEC)* **1** (2003) 307–328
18. NIST: Process Specification Language (PSL). <http://www.mel.nist.gov/psl/> (2007)
19. ISO: International standard 18629 PSL of ISO (iso/tc 184/sc 4 y tc 184/sc 5). <http://www.iso.org> (2007)
20. Uschold, M., Gruninger, M.: *Ontologies: Principles, Methods and Applications*. *Knowledge Engineering Review* **11** (1996) 93–155

21. Uschold, M., King, M., Moralee, S., Zorgios, Y.: The Enterprise Ontology. *Knowledge Engineering Review* **13** (1998) 31–89
22. Ralyt, J., Backlund, P., Khn, H., Jeusfeld, M.: Method Chunks for Interoperability. In Embley, D.W., Oliv, A., Ram, S., eds.: ER. Volume 4215 of *Lecture Notes in Computer Science.*, Springer (2006) 339–353
23. Campos, C., Perry, N., Anaya, V., Jaekel, F.W.: A Questionnaire Design for the Study of Current Practices about the Use of Enterprise Modelling. In: I-ESA'07: 3rd International Conference on Interoperability for Enterprise Software and Applications, Funchal (Madeira Island), Portugal (2007)
24. Campos, C., Grangel, R., Chalmeta, R., Coltell, Ó.: Requirements to improve the synchronisation of inter-enterprise models. In: *Business Process Management Workshops.* (2005) 353–362
25. Avison, D.E., Fitzgerald, G.: *Information Systems Development: Methodologies, Techniques, and Tools.* McGraw-Hill/Irwin (1998)
26. Burkel, J.: Applying CIM for Competitive Advantage. In Burkel, J., ed.: *Proc. of the Autofact'91*, Dearborn, Michigan: SME, cop (1991)
27. Staff, C.E.C.A.: *Open System Architecture for CIM.* Springer-Verlag New York, Inc., Secaucus, NJ, USA (1993)
28. Doumeingts, G., Vallespir, B., Zanittin, M., Chen, D.: GIM-GRAI Integrated Methodology, a Methodology for Designing CIM Systems, Version 1.0. LAP/GRAI, University Bordeaux 1, Bordeaux, France (1992)
29. Doumeingts, G., Vallespir, B., Chen, D.: Decisional modelling GRAI Grid. In: *International Handbook on Information Systems.* Springer-Verlag (1998) 313–337
30. Williams, T.: The Purdue Enterprise Reference Architecture. *Computers in Industry* **24** (1994) 141–158
31. Peter, B., Laszlo, N.: A framework to define a generic enterprise reference architecture and methodology (1994)
32. Chalmeta, R., Campos, C., Grangel, R.: References Architectures for Enterprise Integration. *Journal of Systems and Software* **57** (2001) 175–191
33. Bourey, J.P., Grangel, R., Doumeingts, G., Berre, A.: Deliverable DTG2.3. Report on Model Driven Interoperability. Technical report, INTEROP NoE (IST-2003-508011) TG2 (2007)
34. Jeusfeld, M., Backlund, P., Ralyt, J.: Classifying Interoperability Problems for a Method Chunk Repository. In: I-ESA'07: 3rd International Conference on Interoperability for Enterprise Software and Applications, Funchal (Madeira Island), Portugal (2007)
35. Dell'Erba, M., Fodor, O., Ricci, F., Werthner, H.: Harmonise: A Solution for Data Interoperability. In: I3E '02: Proceedings of the IFIP Conference on Towards The Knowledge Society, Deventer, The Netherlands, The Netherlands, Kluwer, B.V. (2002) 433–445
36. Laopodis, V., Conte, A., Elefteriadou, I.: A Methodology for Introducing Interoperability in Industrial Sectoral Applications of Electronic Commerce. In: DEXA '98: Proceedings of the 9th International Workshop on Database and Expert Systems Applications, Washington, DC, USA, IEEE Computer Society (1998) 679

Table 1. Summary of the proposal

N.	Processes	Activities	Techniques	Outputs
1	Definition of Conceptual Aspects	Definition of scope and constraints	Information collecting techniques	Specific vision and future needs
		Definition of strategic goals concerning interoperability		Enterprise strategy for interoperability
		Identification of current and potential interoperability partners		Interoperability goals
		Viability analysis	Analysis of costs and benefits	Evaluation costs/benefits
2	Identification of Interoperability Situations	Identification of interoperability problems	Brainstorming	Interoperability situations and diagnostic about their viability
		Identification of Business Processes and areas involved in interoperability situations	EML	Interoperability scenarios
		Classification of interoperability situations	Ontology Engineering	Ontology specification
		Evaluation of needs		Classification of partners
		Design of Business Process models	EML	Reference Enterprise Models (BP)
3	Design of Procedures and Platform	Design of procedures and data bases for supporting documentation and information about partners	Software and Ontology Engineering	External user procedures definition
		Design of the web portal		Design and technical specifications of software
		Design of the ontology		Ontology and architecture components of the framework
		Design of data exchange procedures and interfaces		Data exchange interfaces design
		Evaluation and selection of the supporting technologies (A&P) for the development of the framework		
4	Implementation of the Interoperability Framework	Development and testing of the components	Software and Ontology Engineering	Web portal: ontology, data exchange procedures, repository of Reference Models
5	Use and Maintenance	Execution and control	Quality improvement techniques	IF tested, new requirements and releases

An Ontological Solution to Support Interoperability in the Textile Industry

A. Duque, C. Campos, E. Jimenez, R. Chalmeta

Lecture Notes in Business Information Processing (LNBIP) 2nd IFIP WG5.8 Workshop on
Enterprise Interoperability (IWEI'2009)

Springer Verlag (Berlin)

Volum: LNBIP38, **Pàgines:** 38-51, **Any:** 2009

ISSN: 1865-1348, **ISBN :** 978-3-642-04749-7

An Ontological Solution to Support Interoperability in the Textile Industry

Arantxa Duque¹, Cristina Campos¹,
Ernesto Jiménez-Ruiz², and Ricardo Chalmeta¹

¹ Research Group on Systems Integration and Re-Engineering (IRIS)

² Temporal Knowledge Bases Group (TKBG)

Dept. de Llenguatges i Sistemes Informàtics, Universitat Jaume I, Castelló, Spain

{arantxa.duque, camposc, ejimenez, rchalmeta}@uji.es

Abstract. Significant developments in information and communication technologies and challenging market conditions have forced enterprises to adapt their way of doing business. In this context, providing mechanisms to guarantee interoperability among heterogeneous organisations has become a critical issue. Even though prolific research has already been conducted in the area of enterprise interoperability, we have found that enterprises still struggle to introduce fully interoperable solutions, especially, in terms of the development and application of ontologies. Thus, the aim of this paper is to introduce basic ontology concepts in a simple manner and to explain the advantages of the use of ontologies to improve interoperability. We will also present a case study showing the implementation of an application ontology for an enterprise in the textile/clothing sector.

Key words: Interoperability, Ontology, Thesaurus, Case-Study, Textile/Clothing Industry.

1 Introduction

Nowadays, firms are required to work in an effective and efficient manner to create greater possibilities of success in the international market. In order to achieve this, they must collaborate with each other, and it is at this point when communication problems arise. Thus, even if the companies in collaboration belong to the same sector the differences in format or layout of documents or the business logic used, may cause the collaboration process to slow down and, in the worst case scenario, to fail, decreasing opportunities for the companies in the market. *Interoperability* enables the above mentioned problems to be resolved.

According to the IEEE association interoperability is the ability of two or more systems or components to exchange information and to use the information that has been exchanged [1].

Three main research themes or domains that address interoperability issues have been identified by the Thematic European Network IDEAS[2], namely: (1) Enterprise modelling (EM) dealing with the definition of interoperability requirements; (2) Architecture & Platform (A&P) defining implementation solutions to

achieve interoperability; (3) Ontologies (ONTO) addressing the semantics necessary to assure interoperability [3]. Ontologies have critical roles in support of browsing and searches for e-commerce and in support of interoperability for facilitation of knowledge management and configuration. Ontologies can be used as central controlled vocabularies that are integrated into catalogues, databases, web publications and, knowledge management applications, providing a concrete specification of term names and term meanings [4].

The purpose of this paper is to clarify ontology related concepts to researchers, managers and end users and present how ontologies can be used to support interoperability. In this paper we present a case study showing the implementation of an application ontology for a business in the textile/clothing sector that should serve as a basis of a public domain ontology. In next section we review the basic ontology related concepts and we introduce the methodology followed to develop our application ontology. Section 3 introduces the most relevant works about enterprise ontologies. Section 4 describes the main characteristics of the textile/clothing industry. In section 5, we introduce a textile thesaurus developed after the study of the domain and we describe the evolution from that thesaurus to an application ontology specially designed for the case study, a local textile/clothing company, introducing the benefits obtained from the use of ontologies for the enterprise interoperability. Finally, conclusions and future research proposals are included in section 6.

2 Ontology Basic Concepts

Several definitions of the concept ontology have been made, but the one by Gruber [5] is the most popular and widely accepted, and adopted in this paper: an *ontology* is an *explicit specification of a conceptualisation*.

Ontologies define the terms and common concepts used to describe and represent a particular domain or knowledge area, as well as the relationships among these terms and the rules for combining them. The choice of an ontology determines the way in which we perceive and represent our environment. Thus, ontologies are no other than a formalism for knowledge representation. This knowledge can be formalised using the following components: concepts, relations, functions, axioms and instances.

One of the most extended uses of ontologies is the support of *structured*, *comparative*, and *customised searches*. But ontologies are more than just that, they are also powerful tools for providing *interoperability support*. In general Interoperability projects, approaches and frameworks developed, consider as a requirement for their solution the development and use of Ontologies where terminology can be clarified for all the stakeholders as for example in [3, 6, 7, 2, 8]. In the simple case of considering controlled vocabularies, there is enhanced interoperability support since different users/applications are using the same set of terms. In simple taxonomies, we can recognise when one application is using a term that is more general or more specific than another term and facilitate

interoperability. In more expressive ontologies, we may have a complete operational definition for how one term relates to another term and thus, we can use equality axioms or mappings to express one term precisely in terms of another [4].

2.1 Ontology Representation Formalisms

Generally, ontologies are represented in languages that allow abstraction of the low-level data modelling; in practice, ontology representation languages present an expressive power close to first order logics [5]. This capacity for abstraction is what allows ontologies to support interoperability.

Figure 1 presents the existing formalisms for knowledge specification according to their semantic expressiveness. Genuine lexical resources are placed closer to the left, while more formal ontologies are at the right end of the spectrum. We consider a *lexicon* as a compilation of domain terms. A *thesaurus* is no other than a lexicon that includes basic relationships between concepts and, generally, classifies those terms within a hierarchy. On the other hand, *domain ontologies* integrate complex rules and axioms concerning a particular case of application.

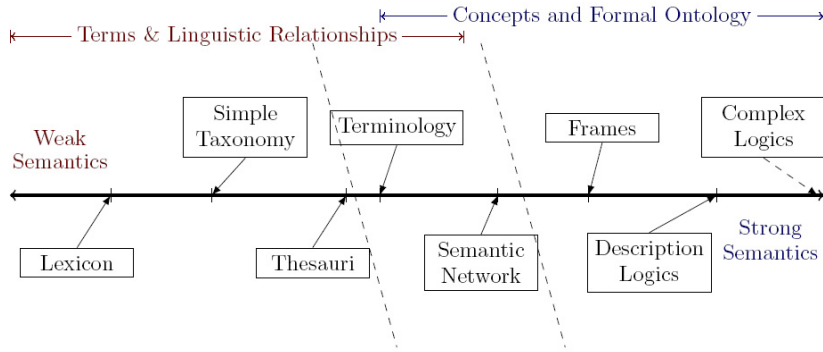


Fig. 1. Adapted Ontology Spectrum based on [4, 9, 10].

Lexical knowledge (i.e. lexicons, thesauri) has been integrated into ontologies in different ways. In the simplest approach, it is introduced directly as one of the properties of the concept. Even though the previous scenario seems to be the preferred one by the community, authors in [9, 10] propose that ontologies and lexical resources (thesauri in our case) to be kept separated from each other. This organisation enables the reuse of a thesauri by several resources within the same domain. This reuse may improve ontology alignment since ontology concepts will be linked to entries of the same thesaurus. Figure 2 shows such linkage between ontology concepts and thesaurus terms. If the same entry in the thesaurus is linked to several ontology concepts, this may indicate that these concepts are potentially aligned.

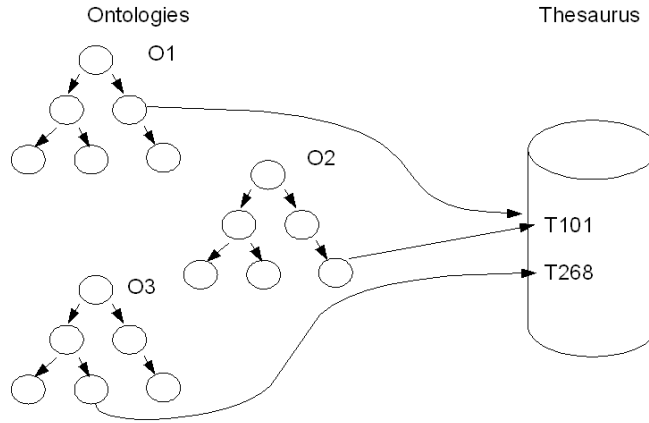


Fig. 2. Ontology thesaurus link based on [10].

2.2 Ontology Development Methodologies

There are several design criteria and development approach methodologies for Ontologies, including those proposed by Natasha Noy et al [11], Uschold and Gruninger [12], Guarino [13], and A. Gomez-Perez et al [14].

All these methods focus, in particular, on scenarios where a harmonisation between similar ontologies is required or there is a need to achieve the interoperability of distributed knowledge sources, which may be either databases or ontologies or both.

INTEROP Network of Excellence [6] adopts UPON (Unified Process for Ontology building) [15]. UPON is an incremental methodology for ontology building that takes into account that in most cases companies require a migration of the already existing knowledge bases (typically relational databases) to ontologies; and generally these existing knowledge bases would still continue to exist and need to interoperate with the newly designed ontology as well.

UPON's characteristics stem from the Software Development Unified Process, one of the most widespread and accepted methods in the software engineering community, and it uses the Unified Modelling Language (UML) to support the preparation of all the blueprints of the ontology project.

What distinguishes UPON from other methodologies, for software and ontology engineering respectively, is their *use-case driven*, *iterative* and *incremental* nature. UPON presents cycles, phases, iterations and workflows. Each cycle consists of four phases (inception, elaboration, construction and transition) and results in the release of a new version of the ontology. Each phase is further subdivided into iterations.

For each iteration five workflows take place: requirements, analysis, design, implementation and test; and a richer and more complete version of the target ontology is produced. The incremental nature of UPON first requires the identification of relevant terms in the domain, gathered into a lexicon; then this is

progressively enriched with definitions, yielding a glossary; adding the basic ontological relationships to it allows a thesaurus to be produced, until, with further enrichments, it takes a final shape.

The methodologies for ontology design mentioned above have many points in common, but in this paper we will mainly focus on the UPON methodology as we consider that its iterative nature is more appropriate and adapts better to our domain and case study. But, as we mentioned already in this paper, we will keep the thesaurus and the domain ontology separated from each other.

3 Enterprise Ontology Review

Enterprise Ontology (EO) has its origins in the need to develop models at a high-level of abstraction with the development of effective inter- and intra-enterprise information systems. These models need to be understood by both business people, who are defining their functionality, and software engineers, who are constructing and implementing the software systems that realise the systems' functionality. The idea of business components for modelling information systems is very valuable since they directly reflect the business rules and the constraints that apply to the enterprise domain [16].

Thus, an Enterprise Ontology is a collection of terms, definitions, relations and rules relevant to business enterprises. In order to develop an enterprise ontology, all the terms in the business need to be considered and clearly defined. This includes the company's intended purposes, the processes and everything happening in the business. From the research of AIAI (Artificial Intelligence Applications Institute in the University of Edinburgh) the main uses for the Enterprise Ontology include to [17]:

- *Enhance communication* between humans, for the benefit of integration.
- Serve as stable *basis for understanding* and specifying the requirements for end-user applications, which leads to more flexibility in an organisation.
- *Achieve interoperability* among disparate tools in an enterprise modelling environment using the EO as an interchange format.

3.1 Enterprise Ontology Approaches

TOVE (TOronto Virtual Enterprise) ontology is the result of the TOVE [18] project conducted by the University of Toronto. The TOVE project provides a generic, reusable data model that provides a shared terminology for the business and enterprise.

The researchers in the National Institute of Standards and Technology developed PSL (Process Specification Languages) [19]. PSL, initially based on TOVE, identifies, formally defines, and structures the semantic concepts intrinsic to the capture and exchange of discrete manufacturing process information.

Finally, the Edinburgh Enterprise Ontology or the Enterprise Ontology (EO) [17] project's goal is to provide "a collection of terms and definitions relevant to

business enterprises to enable coping with a fast changing environment through improved business planning, greater flexibility, more effective communication and integration". The EO project has also developed tools for modelling, communicating and representing enterprises and processes in a unique way. The EO is represented in an informal way (text version) and in a formal language (Ontolingua).

All these efforts offer a great contribution to ontology development as a support mechanism for interoperability. But, in real life, only large companies can afford these solutions. In fact, a large number of enterprises have a very poor understanding of what ontologies and their advantages are. Moreover, even though a huge amount of information about ontologies and their applications has been written, the number of tangible or free-accessible ontologies is very scarce.

The aim of this paper is make all this information accessible to the general public and provide the reader with a practical and simple example of how an application ontology can be designed and implemented. More precisely, we will focus on the design of an application ontology for a local textile/clothing company.

4 Case Study Context

Because the aim of this document is to present an application ontology developed for a textile/clothing enterprise, we will now briefly review the main characteristics of this sector and describe the most significant research conducted to introduce interoperable solutions in the domain.

4.1 About the Textile/Clothing Industry

The production process within the Textile/Clothing sector is based on collaboration between a large number of small and medium enterprises (SMEs) to create and deliver items of textiles and clothing. Each of these enterprises is responsible for a particular aspect of the production process: such co-operation is regulated by the exchange of request/response messages necessary to carry out all the steps in the supply chain. The delivery timing of the final product is affected by the communication mechanism adopted within the supply chain. In this sector the introduction of fully interoperable solutions and standards is a harder task when compared to other production processes, since the sophistication and specificity of the cooperation among the enterprises of the supply chain (mainly based on human relationships instead of Information and Communication Technologies) are very high and represent a peculiar competitive factor.

4.2 Textile/Clothing Industry Interoperability Approaches Review

Up until 2000, most innovation was aimed at automating internal business processes. In many cases, even this was usually only within individual departments,

leaving inter-enterprise processes as manual. The only existing interoperability solutions were based on EDIFACT [20] technology, and EDITEX [21], which are described below.

The EDI, Electronic Data Interchange, defined by a UN Commission, was focused on the simplification of international commerce. It was based on: (1) A document structure for international electronic commerce; (2) the UN dictionary of the words for international trade; and (3) the ISO syntax for the electronic transfer of data within flat files. The result was a rigid technology, EDIFACT, where customisations were made by suppressing of unused parts of a common general structure. This approach was valuable because it conveys a universal standard, but it was only affordable for large organisations.

In the period between 1980 and 1990, the EDITEX project developed the EDIFACT subsets for the European Textile and Clothing industry. Despite these efforts, the diffusion of the EDITEX solution was also limited to a few very large organisations.

eTexML [22] is a French project coordinated by the *Institut Francais du Textiles et de l'Habillement* - IFTH. The project was initiated in order to provide a set of EDI tools based on XML to allow manufacturers and retailers to implement a reactive delivery strategy.

TEX-WEAVE [23], *Standardisation and interoperability in the Textile Supply Chain Integrated Networks*, is an international project in which AITEX (*Instituto Tecnológico Textil*) [24] based in Alcoi (Spain) is involved. The aim of this project is to provide the Textile/Clothing sector with a framework for interoperability based on standardised electronic document exchange based on XML Schemas.

Moda-ML [25] (now denominated *Moda-ML initiative*) was a European project based in Italy. The project objective was to facilitate the exchange of technical and managerial information between the companies of a supply chain in the Textile/Clothing sector. The project is especially focused on the relationship between textile providers and clothing manufacturers.

Regarding semantic-like interoperability, *Moda-ML* represents an interesting initiative to provide semantics for the e-business vocabulary [26, 27]. They carried out the following steps based on UPON methodology: they started by identifying the necessary vocabulary terms (i.e. lexicon), then they created a basic organisation of the terms (i.e. thesaurus), and finally they automatically built an ontology following a set of patterns and descriptions extracted from a database.

The next section presents our case study, which is a study we carried out of the main requirements for developing a reference vocabulary and ontology. As *Moda-ML*, we have followed a three-steps approach: definition of term requirements (i.e. lexicon), analysis and organisation of terms (i.e. thesaurus), and implementation of a formalisation (i.e. ontology).

5 Development of an Ontology for the Textile/Clothing Industry

The case study is an enterprise involved in the hosiery and textile/clothing industry. The company expanded and diversified its operations to also manufacture socks and to produce all its own yarn and fibre requirements. The company has kept growing and introduced new product areas such as underwear, beachwear, pyjamas and lingerie.

For the sake of brevity, in this paper we will focus on the part of the ontology developed to describe the technical specifications or characteristics of the wide range of products manufactured and commercialised by the company.

Next we will describe the steps conducted in order to complete our ontology, based on the UPON methodology described in subsection 2.2,. Figure 3 shows how UPON methodology has been adapted to our particular case of study.

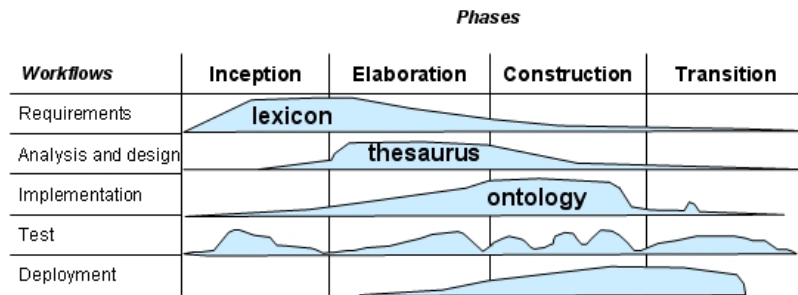


Fig. 3. Steps conducted in order to develop our application ontology based on [15, 28].

5.1 Determine the Domain, the Benefits and the Scope of the Ontology

During this phase of the study it is vital to determine what the domain of the ontology is, what the ontology will be used for and who will use and maintain the ontology.

After a precise study of the enterprise to gain a deep understanding of its workflow, we decided to focus our ontology on the *textile products* that are produced and marketed.

It is important to determine how the company would benefit from the development of an application ontology. The most immediate and evident advantage is the possibility of introducing *semantic searches* on the enterprise web portal from which employees and customers would benefit.

The creation of the ontology and the introduction of a shared thesaurus for the domain can also provide interoperability support. As shown in Figure 4, ontologies can be used to formally abstract the knowledge represented in a

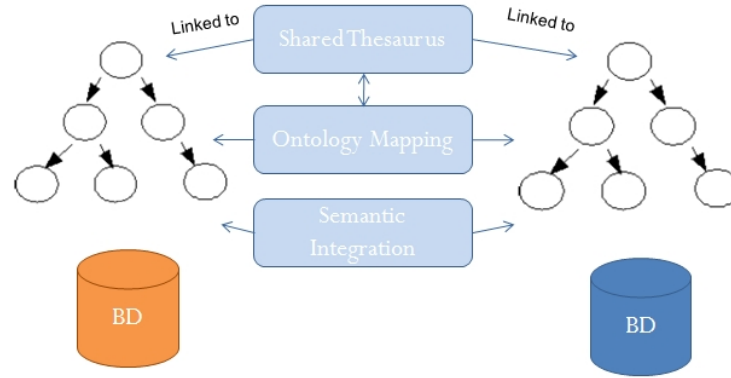


Fig. 4. Use of ontologies to support interoperability.

particular database. Additionally, if these ontologies share a domain thesaurus, interoperability support is enhanced since different users/applications are using the same set of terms; moreover, mappings between them can be directly defined.

Regarding the semantic integration, ontologies can also be used to detect incompatibilities between database schemas to be integrated. When merging independently developed ontologies, given a set of mappings between them, errors are likely to occur due to different points of view in the respective conceptualisations [29]. In general such errors are due to global restrictions which are not true in all contexts (e.g. only *items* have a *name*), but in a specific application. Thus, when integrating different applications and databases with different contexts, these global restrictions should be avoided.

In our particular case of study, the application ontology enhances internal interoperability between the different departments of the company since they now have a shared domain thesaurus defining the most common terms. A specific ontology could also be developed for each department. This particular ontology should take into account the most relevant processes of every unit. Moreover, a mapping between these ontologies may also be implemented. Thus, the shared thesaurus and the set of departmental ontologies will provide a fully interoperable solution within the company.

On the other hand, external Enterprise Interoperability could be also achieved by providing the enterprises that usually collaborate with the company under study with ontological solutions based on our shared thesaurus. This will allow local companies to cooperate with each other in a more effective and efficient manner.

5.2 Identification of Relevant Terms

Once the scope and the domain of the ontology have been clearly defined, the next step is to identify the relevant terms in the application domain (i.e. the

lexicon), the textile/clothing sector in our case of study, and elaborate a lexicon including the most general terms.

In order to achieve this, we studied and analysed several clothing catalogues from the most important companies in the sector. We especially focused on nightwear, hosiery, socks and underwear, as they are the main items commercialised by our case study. The result of this study was a compilation of the domain's most relevant terms (see Figure 5). Some of the concepts included in our lexicon are *Brand*, *Colour*, *Size*, *Fabric*, *Item*, *Season*, *Collection*, etc.

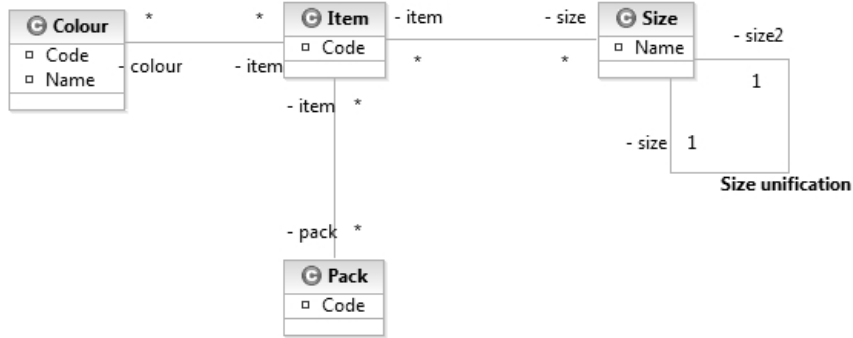


Fig. 5. UML representation of a subset of the domain concepts.

5.3 Introduction of Basic Relationships between Terms

The next step after the lexicon development is the introduction of the basic relationships between domain concepts to obtain a *thesaurus*. As mentioned in section one, this thesaurus will ideally be shared among different companies in the sector or different departments within a company and it will be the foundation for the development of an application ontology reflecting the particularities of each individual enterprise in the textile sector. By basic relationships between domain concepts, we understand: the classification of the domain concepts within a hierarchy and establishment of linguistic relationships such as synonyms and translations. In our thesaurus, for example, terms are defined in English and Spanish and an equivalence between the sizes used in different countries has been introduced.

We have used SKOS (Simple Knowledge Organization System) [30, 31] as a formal language to represent our *textile thesaurus* (**TextileTh**). This language has a rich support for labelling and reporting term metadata (e.g. Preferred label, Alternate labels, definitions, examples) as well as for defining linguistic relationships (e.g. Has Broader, Has Narrower, Related, Exact Match). Figure 6 shows an example of a set of SKOS-like entries organised within a hierarchy (skos:broader) and showing different synonyms and translations (skos:altLabel).

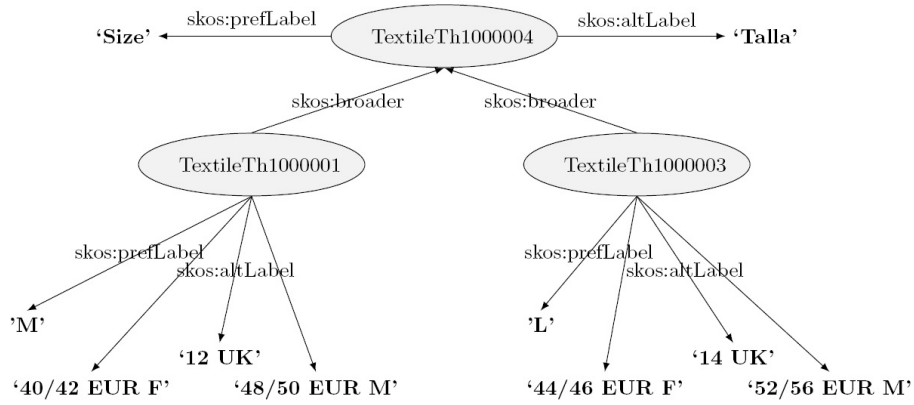


Fig. 6. Excerpt from the developed SKOS-like Thesaurus.

5.4 Design and Creation of the Required Application Axioms

Once we have developed a domain thesaurus, our objective is now to introduce the required axioms to model the particular business rules and complex relationships between the case study products to create an *application ontology*. Thus, we will create the enterprise’s application ontology taking the shared domain thesaurus as a reference.

Table 1. Excerpt from the product definition required in the case.

	XS and S are small sizes
α_1	$\text{Small_Sizes} \equiv \text{XS} \sqcup \text{S}$
	XL, XXL and XXXL are big sizes
α_2	$\text{Big_Sizes} \equiv \text{XL} \sqcup \text{XXL} \sqcup \text{XXXL}$
	A Pack includes two or more items with the same Size
α_3	$\text{Item_S} \equiv \text{Item} \sqcap \exists \text{hasSize.S} \sqcap \forall \text{hasSize.S}$
α_4	$\text{Pack_S} \equiv \text{Pack} \sqcap \forall \text{hasItem.Item_S} \sqcap \geq 2 \text{ hasItem.Item_S}$
α_5	$\text{Pack} \equiv \text{Pack_S} \sqcup \text{Pack_XS} \sqcup \dots \sqcup \text{Pack_XL} \sqcup \text{Pack_XXL} \sqcup \text{Pack_XXXL}$
	A Basic Pack includes three items: 1 black, 1 white and 1 ecru
α_6	$\text{White_Item} \equiv \text{Item} \sqcap \exists \text{hasColour.White} \sqcap \forall \text{hasColour.White}$
α_7	$\text{Black_Item} \equiv \text{Item} \sqcap \exists \text{hasColour.Black} \sqcap \forall \text{hasColour.Black}$
α_8	$\text{Ecru_Item} \equiv \text{Item} \sqcap \exists \text{hasColour.Ecru} \sqcap \forall \text{hasColour.Ecru}$
α_9	$\text{PackBasic_S} \equiv \text{Pack_S} \sqcap \exists \text{hasItem.White_Item} \sqcap \exists \text{hasItem.Black_Item} \sqcap \exists \text{hasItem.Ecru_Item} \sqcap = 3 \text{ hasItem.Item_S}$
α_{10}	$\text{PackBasic} \equiv \text{PackBasic_S} \sqcup \text{PackBasic_XS} \sqcup \dots \sqcup \text{PackBasic_XXXL}$

The creation of an application ontology requires a deep understanding of the business rules, processes and particularities of the company you are developing the ontology for. In order to fully understand how the enterprise works, we arranged several meetings with the different departments involved in the design and commercialisation of their products, including IT.

We have adopted OWL (Ontology Web Language) [32, 33, 34] as the ontology language, and we have used Protégé 4 [35] as the OWL ontology editor. Table 1 shows some of the product definition specifications required they are enumerated in English, but their formal representation using description logics [36] is also included.

6 Conclusions

Theoretically, there is no doubt about the benefits of using ontologies to support enterprise interoperability and to facilitate the development of the semantic web. The aim of this research is to clarify ontology related concepts to companies and end users, so they can benefit from the actual application of these mechanisms. Moreover, in this paper we have presented a practical approach to ontology design and development by introducing an application ontology for the textile sector, that should be the beginning for a development of a public ontology in this sector.

The main problem encountered during our research is that even though there have been plenty of efforts in the last few years to develop a textile thesaurus that could be used as a standard in this domain, nowadays, few companies are aware of the actual benefits of investing in these mechanisms and using them as tools to support interoperability. In this paper, we have developed a simplified thesaurus for the sector that could be the foundation for the creation of a standard. Moreover, we have introduced how an application ontology can be developed, taking this thesaurus as a reference. Even today, the creation of a standard thesaurus is necessary for the future development and actual use of application ontologies within the textile sector.

Thus, we can conclude that there is still a lot to do before the actual use of application ontologies in the textile/clothing industry. As we have already mentioned, the main reason for this is the lack of a standard thesaurus or taxonomy collecting the domain relevant concepts and basic relationships. We also consider it is very important to carry out initiatives to educate companies and employees in the use of ontologies, and to prove to them that they can benefit from these mechanisms. Practical examples of use may be introduced so enterprises can better understand how the use of ontologies can enhance communications with customers, suppliers and stakeholders.

Acknowledgments. This work was partially funded by CICYT DPI2006-14708, BPI06/372 and IMPIVA.

References

1. IEEE Computer Society Press: IEEE standard computer dictionary : a compilation of IEEE standard computer glossaries, New York, NY, USA (January 1991)
2. IDEAS: (Interoperability Development for Enterprise Application and Software) Project. <http://www.ideas-roadmap.net> (2005)
3. Chen, D., Doumeingts, G.: European initiatives to develop interoperability of enterprise applications-basic concepts, framework and roadmap. *Annual Reviews in Control* **27**(2) (2003) 153–162
4. Mcguinness, D.L.: Ontologies come of age. In: *The Semantic Web: Why, What, and How*, MIT Press (2003)
5. Gruber, T.R.: Towards Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing. In Guarino, N., Poli, R., eds.: *Formal Ontology in Conceptual Analysis and Knowledge Representation*. (1993) Updated Definition: <http://tomgruber.org/writing/ontology-definition-2007.htm>.
6. Bourrières, J.P.: The interop network of excellence. In: *Interoperability of Enterprise Software and Applications*, Springer-London (2006) 455–457
7. ATHENA: Advanced Technologies for interoperability of Heterogeneous Enterprise Networks and their Applications IP (IST-2001- 507849). <http://www.athena-ip.org> (2008)
8. Campos, C., Martí, I., Grangel, R., Mascherpa, A., Chalmeta, R.: A methodological proposal for the development of an interoperability framework. In: *Model Driven Interoperability for Sustainable Information Systems (MDISIS'08) (CAiSE'08)*. Volume 340., CEUR-WS (2008) 47–57
9. Jimeno-Yepes, A., Jimenez-Ruiz, E., Berlanga, R., Rebholz-Schuhmann, D.: Use of shared lexical resources for efficient ontological engineering. In: *Semantic Web Applications and Tools for Life Sciences Workshop (SWAT4LS)*, Volume 435 of CEUR WS Proceedings (2008)
10. Jimeno-Yepes, A., Jimenez-Ruiz, E., Berlanga, R., Rebholz-Schuhmann, D.: Reuse of terminological resources for efficient ontological engineering in life sciences. *BMC Bioinformatics* To be published 2009.
11. Noy, N.F., Mcguinness, D.: Ontology development 101: A guide to creating your first ontology. Stanford KSL Technical Report KSL-01-05: <http://www.ksl.stanford.edu/people/dlm/papers/ontology101/ontology101-noy-mcguinness.html> (2000)
12. Uschold, M., Gruninger, M., Gruninger, M.: Ontologies: Principles, methods and applications. *Knowledge Engineering Review* **11** (1996) 93–136
13. Guarino, N., Carrara, M., Giaretta, P.: Formalizing ontological commitments. In: *AAAI '94: Proceedings of the twelfth national conference on Artificial intelligence (vol. 1)*, Menlo Park, CA, USA, American Association for Artificial Intelligence (1994) 560–567
14. Fernandez-Lopez, M., Gomez-Perez, A., Juristo, N.: METHONTOLOGY: from ontological art towards ontological engineering. In: *Proceedings of the AAAI97 Spring Symposium*, Stanford, USA (March 1997) 33–40
15. Nicola, A.D., Missikoff, M., Navigli, R.: A proposal for a unified process for ontology building: Upon. In Andersen, K.V., Debenham, J.K., Wagner, R., eds.: *DEXA*. Volume 3588 of *Lecture Notes in Computer Science.*, Springer (2005) 655–664
16. Albani, A.; Dietz, J.L.G.: The benefit of enterprise ontology in identifying business components. In: *The Past and Future of Information Systems: 1976-2006 and Beyond*. Volume 214 of *IFIP International Federation for Information Processing.*, Springer-Boston (2006) 243–484

17. Uschold, M., King, M., Moralee, S., Zorgios, Y., Uschold, M., King, M., House, S.B.R., Moralee, S., Zorgios, Y.: The enterprise ontology. *The Knowledge Engineering Review* **13** (1998) 31–89
18. TOVE: Toronto Virtual Enterprise project. Enterprise Modelling. <http://www.eil.utoronto.ca/enterprise-modelling/index.html>
19. PSL: NIST Process Specification Language. <http://www.mel.nist.gov/psl/>
20. EDIFACT: Electronic Data Interchange For Administration, Commerce and Transport. <http://www.unece.org/cefact/>
21. EDITEX: TEDIS project, Trade EDI Systems Programme. Interim report. Office for official publications of the European Community, ISBN-92-826-5658-6. (1992)
22. P. Robinet, J.M. Dufour, H.L.Q.: Description of the eTeXML project. Annex 8 to TEX-SPIN D10-CWA (2003)
23. TEX-WEAVE: Standardisation and Interoperability in the Textile Supply Chain Integrated Networks. <http://www.texweave.org/>
24. AITEX: Instituto Tecnológico Textil. <http://www.aitex.es/index.php>
25. Moda-ML: Public reports. http://www.moda-ml.org/moda-ml/download/documentazione/pubbl_modaml.asp
26. Gessa, N., Busanelli, M., Sabbata, P.D., Vitali, F.: Extracting a semantic view from an ebusiness vocabulary. In: *Proceedings of IEEE International Conference on E-Commerce Technology*. (2006) 398–401
27. de Sabbata, P., Gessa, N., Busanelli, M., Brutti, A., Frascella, A.: Providing a semantic description for an interoperability framework using ontologies. In: *Exploiting the knowledge economy: issues, applications, case studies*, IOS Press, Amsterdam (2006) 197–204
28. Michele Missikoff, D.F.: Basic ontological solutions for interoperability. Deliverable DO1 INTEROP Network of Excellence (2006)
29. Jimenez-Ruiz, E., Cuenca Grau, B., Horrocks, I., Berlanga, R.: Ontology integration using mappings: Towards getting the right logical consequences. In: *Proc. of European Semantic Web Conference (ESWC)*. Volume 5554 of LNCS. (2009) 173–187 Technical Report Available at <http://krono.act.uji.es/people/Ernesto/contentmap>.
30. SKOS: Simple Knowledge Organization System. <http://www.w3.org/2004/02/skos/intro>
31. Miles, A., Matthews, B., Beckett, D., Brickley, D., Wilson, M., Rogers, N.: Skos: A language to describe simple knowledge structures for the web. In: *Proc of the XTech Conference: XML, the Web and beyond*. (2005)
32. OWL: Ontology web language. <http://www.w3.org/2007/OWL/wiki/Syntax>
33. Horrocks, I., Patel-Schneider, P.F., van Harmelen, F.: From *SHIQ* and RDF to OWL: the making of a web ontology language. *J. Web Sem.* **1**(1) (2003) 7–26
34. Cuenca Grau, B., Horrocks, I., Motik, B., Parsia, B., Patel-Schneider, P., Sattler, U.: OWL 2: The next step for OWL. *J. Web Semantics* **6**(4) (2008) 309–322
35. Protégé: Ontology Editor. <http://protege.stanford.edu/>
36. Baader, F., Calvanese, D., McGuinness, D.L., Nardi, D., Patel-Schneider, P.F.: *The description logic handbook: theory, implementation, and applications*. Cambridge University Press, New York, NY, USA (2003)

Methodology for Measuring Interoperability Potentiality

C. Campos, R. Grangel, R. Chalmeta, R. Poler

In Revision in:Computers in industry

Elsevier

Volum: , Pàgines:, Any: 2010

ISSN:0302-9743

Methodology for Measuring Interoperability Potentiality[☆]

Cristina Campos^{a,*}, Ricardo Chalmeta^a, Reyes Grangel^a, Raul Poler^b

^a*Grupo de Investigación en Integración y Re-Ingeniería de Sistemas (IRIS), Dept. de Llenguatges i Sistemes Informàtics, Universitat Jaume I, 12071 Castelló, Spain*

^b*Centro de Investigación e Ingeniería de la Producción (GIP), Departamento de Organización de Empresas, Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera s/n 46021 Valencia, Spain*

Abstract

Interoperability is a key issue for enterprises in order to keep their competitiveness and market opportunities. The preparation level to establish interoperability with possible partners is defined as interoperability potentiality. In order to improve this interoperability potentiality, enterprises need to know how prepared they are, and what they need to improve their current situation. So, measuring techniques for evaluating this preparation level regarding interoperability must be defined and applied. Different maturity models applied to interoperability have been proposed defining the levels that can be assigned to an enterprise in this context, but these maturity models do not provide a formal guide about what and how must be measured interoperability or interoperability potentiality. This paper is focused on the interoperability potentiality measurement. In order to support the objective a set of parameters and a phase based methodology are proposed. The parameters are identified taking into account strategic issues, enterprise business processes, organisational aspects, human resources characteristics and, semantics and knowledge management. These parameters are the base to develop a questionnaire that is applied in the central phase of the methodology proposed, that guides step by step in the interoperability potentiality measurement project. In order to clarify and to analyse the proposal an example of application in a real case is described.

Keywords: Interoperability, Measuring, Interoperability Potentiality, Interoperability Parameters, Measuring Methodology

1. Introduction

In the current economic context enterprises must be capable of collaborating with one another efficiently in order to minimise costs, offer new services, deal with new challenges and, ultimately, be more competitive both in times of crisis or economic recession, and in times of growth. One of the main problems that enterprises face when it comes to establishing efficient collaborative working relationships is the lack of cultural, conceptual, organisational, process and technological compatibility [1].

The concept of enterprise interoperability thus appears as a solution to such problems. Many definitions of interoperability have been put forward over the years [2]. Nevertheless, to gain a better understanding it can initially be defined as the capacity enterprises and organisations have to collaborate in an efficient manner while preserving their own identities and their own ways of doing business through mechanisms that act as facilitators. In this context, *efficient* means that the enterprise will use the physical and economic resources necessary to make collaboration viable and yield benefits in tune with the investment that was carried out. *Preserving their identity* means

that the enterprise does not substantially modify its structure and processes in order to achieve compatibility with other enterprises.

The concept of interoperability arises as an evolution of two lines of research: Enterprise Integration and Software Engineering [3, 4]. Although references to interoperability in different technological and governmental areas have appeared in the literature for over three decades [2], the first significant initiative implemented to establish and define interoperability was the one designed by the US Department of Defense (DoD) C4ISR Working Group in the year 1997 [5, 6]. Different definitions of interoperability have since been proposed in the literature, some focused on aspects related with the information and communication technologies [7] and others that also reflect organisational, economic and social aspects and requirements [8].

Interoperability is considered to be achieved if the interaction takes place, at least, in the business, knowledge and information and communication technologies (ICT) layers, and also considering the semantic layer that is transversal to the previous three[4]. According to IDEAS[9] and INTEROP[10] there are three relevant domains to provide enterprises interoperability solutions: Enterprise Modelling (EM), which deals with the representation of the inter-networked organisation and considers how to ensure interoperability between different models; Architectures and Platforms (A&P), which takes into consideration the necessary technology to implement interoperable applica-

[☆]This work was funded by DPI2006-14708 and Bancaja

*Corresponding author.

Email addresses: camposc@uji.es (Cristina Campos), rchalmet@uji.es (Ricardo Chalmeta), grangel@uji.es (Reyes Grangel), poler@upv.es (Raul Poler)

tions; and Ontologies (ONTO), which ensure that the semantics used are understandable by the two systems.

To develop and improve enterprise interoperability, metrics have to be defined in order to assess the aspects that favour or restrict it [11]. These measures are organised in what is called a Maturity Model. A capability maturity model is a model for evaluating the processes of an organisation. To do so, it defines the states or levels at which an enterprise or system can be situated, a set of good practices, goals and quantifiable parameters that make it possible to determine on which of the levels the enterprise currently stands, and also a series of proposals with which to evolve from one level of maturity to a higher one.

The term **Maturity Model** was made popular by the SEI (Software Engineering Institute) when the Capability Maturity ModelTM (CMMTM) was put forward in 1986 [12]. This maturity model, which was initially focused on improving the software development process, has gradually evolved with each new version and is widely accepted as a guide for evaluating the processes of an organisation [13]. Based on this initiative, a number of capability and maturity models centered on different aspects of enterprises and organisations have been proposed. Several maturity models have also been put forward in interoperability research [2], some of the most significant of which are analysed and used as the foundation for this study.

Enterprise interoperability maturity can be measured in three different domains [14–16]: potentiality measure, compatibility measure and performance measure.

Some of the works carried out and applied to enterprises in this field have developed techniques and methods for measuring interoperability maturity in the compatibility and performance measures [11, 17]. Nevertheless, no specific parameters or solid appropriate methods have been put forward to evaluate the interoperability potentiality in a satisfactory way. This work describes a practical proposal for evaluating Interoperability Potentiality Maturity in an enterprise together with the analysis of the results from this evaluation so that a diagnosis can be reached and improvement projects can be defined. The proposal consists of two sections:

1. **A set of parameters** for measuring the interoperability potentiality that takes into account different aspects of the enterprise, such as Business, Process Management, Human Resources, Knowledge, Information and Communications Technologies, and Semantics.
2. **A methodology** that provides the steps to be followed in order to measure the interoperability potentiality taking into account the previously defined parameters.

The work is completed with the description of the application of the methodology to a real case in an enterprise in the textile sector to evaluate the applicability and benefits this proposal offers for the enterprise. This paper is organised as follows. Section 2 reviews some of the definitions of interoperability, the approaches and the projects carried out on maturity models that were considered during the development of the proposal; in section 3 the views and the measurement parameters defined

for this work are given; section 4 explains the methodology and its phases, and section 5 briefly outlines how it was applied to a real enterprise and discusses practical aspects of this application. Finally, in section 6, conclusions and future work are summarised.

2. Interoperability and maturity models context

The IEEE [18] defines interoperability as the ability of two or more systems or components to exchange information and to use the information that has been exchanged. In the context of enterprise networks, interoperability refers to the ability to carry out interactions (i.e. exchange information and services) between enterprise systems. Enterprise interoperability is considered to be significant if the interactions can take place on at least three enterprise layers, i.e. data, services and processes, with the semantics defined in a given context [1, 11]. The approach must consider organisational, economic and social aspects, as well as technological changes.

In order to better understand what interoperability is and what it is not, it is worth analysing interoperability aspects versus enterprise integration. Enterprise integration can be loose, tight or full [3]. Loose integration means that an enterprise or a system component can work as part of an integrated system but continues to exist on its own. Loose integration can thus be considered to be equivalent to interoperability. Two integrated enterprises could also be said to interoperate satisfactorily, since the homogeneity of their processes and systems implies a full (and effortless) capacity to collaborate and exchange information. But this is not the problem posed in the field of research on interoperability. The problem arises when the enterprises that need to collaborate do not want to adopt an integrated way of collaborating and employ heterogeneous systems, different tools and ways of working, and also different concepts or languages. Moreover, setting up the collaboration must not imply a loss of their independence or of their capacity to continue to work in an autonomous manner or to collaborate with other organisations.

Another important aspect to be taken into account when developing proposals for improvement in interoperability is that, although they usually refer to collaborations with external institutions, they include (and are even based on) collaborations between different departments or systems that exists within the enterprise itself and which were set up to carry out internal processes. As considered in the previous section on the subject of collaborations with other organisations, internal collaborations should not be a problem when the enterprise is fully integrated. But sometimes this is not possible and it is less costly to establish utilities that improve collaboration, that is to say, to apply principles of interoperability among departments. This is defined as intra-interoperability and will also be taken into account when it comes to measuring the interoperability potentiality maturity of the enterprise.

In order to establish and define projects for improving interoperability, first it is necessary to evaluate and diagnose the situation in which the enterprise currently finds itself and to put forward improvements that favour evolution in this

field. To measure this situation it is necessary to consider a maturity model that defines the levels a particular enterprise or collaboration may find itself on as far as interoperability is concerned.

In the last decade different maturity models applied to interoperability have been proposed, both in the just the technological field and also taking into account enterprise interoperability on all the different layers of the enterprise [5, 6, 19, 20]. The high level of interest in research on interoperability applied to public institutions can be seen in the different proposals developed for maturity models by public or governmental bodies, such as that of the Australian Department of Defence [8], the one by the Norwegian e-government [7], and that of the Center for Technology in Government (Albany USA) [21]. In most cases the proposed maturity models define the levels, and even there are maturity models, which also include a set of good practices allowing enterprises to become interoperable [20]. In general, however, the proposals do not go into great depth regarding which aspects need to be evaluated, how to measure them in order to assign a level of maturity, and how to improve this level if it is considered necessary to do so.

Next sections provide a more detailed description of the interoperability maturity models that, because of their relevance and contents, were taken as the starting point for the proposal in this work.

2.1. Levels of Information Systems Interoperability (LISI)

The first significant initiative carried out to measure interoperability was the one proposed by the DoD C4ISR Working Group, entitled Levels of Information Systems Interoperability (LISI) [6]. The aim of LISI was to establish (and, consequently, to improve) the maturity of the information systems used by the US Department of Defense in joint actions implemented between different military units. LISI provides a maturity model and the processes that are to be carried out to identify the interoperability needs and how to enable the information systems to support those needs. It deals with generic topics, although this proposal focuses on solving interoperability issues in the US military sector and the field of information systems and technologies. It was developed in the year 1998, but this maturity model continues to be a reference and makes it possible to identify the level reached as far as system interoperability is concerned. Among other projects, it has been used as the basis for the development of other interoperability maturity models, such as the one developed by the Australian Department of Defence [8], and the maturity model proposed by ATHENA [19].

Basically LISI proposes five levels of maturity: *Isolated, Connected, Distributed, Domain and Enterprise*, each with its own representative features. To establish these levels of maturity, it defines four areas of interest under a structure called PAID, which stands for Procedures, Applications, Infrastructure and Data. This maturity model is interesting because it establishes a first approach in order to develop a full maturity model, although the proposal is essentially focused on the technological platforms that support information systems and do not cover all the areas of interest that must be taken into account in enterprise interoperability, such as knowledge or semantic.

2.2. Enterprise Interoperability Maturity Model ATHENA (EIMM)

ATHENA (Advanced Technologies for Interoperability of Heterogeneous Enterprise Networks and their Applications) is an integrated project of the European Union that proposes an enterprise interoperability framework AIF (Athena Interoperability Framework) for business applications and software systems [19, 22] as a support for the development of projects in this field. This project addresses the problem of interoperability and proposes solutions based on the idea that the interoperability of an enterprise can take place at different levels, i.e. Enterprise/Business, Processes, Services, Information/Data, Ontologies and Semantics. The AIF proposes a methodology called the ATHENA Interoperability Methodology (AIM) which in turn includes the following support methods: a Business Interoperability Framework (BIF), an Enterprise Interoperability Maturity Model (EIMM) and an Interoperability Analysis Method.

The EIMM defines five levels, i.e. *Performed, Modelled, Integrated, Interoperable and Optimising*. The EIMM helps to assess an organisation's level of maturity concerning the use of enterprise models as well as, the capability of these models to enable the company to take part in a collaboration. Based on an EIMM assessment, companies will be guided to choose the right concepts in order to improve their capabilities, by taking into account actual market and enterprise challenges. Based on an EIMM assessment, companies will be guided to choose the right concepts in order to improve their capabilities, by taking into account actual market and enterprise challenges [22]. Although it is stated that parameters and methods must be defined to measure interoperability, no complete proposal has been put forward showing the steps to be followed or the methods and tools to be used to carry out this measurement.

2.3. Interoperability Potentiality Maturity Model

Another proposal in the framework of interoperability methodologies and maturity models is the Barriers Driven Methodology [11, 14, 15]. This methodology states that enterprises are not interoperable because there are barriers that inhibit interoperability. The goal is to tackle interoperability problems by identifying the barriers that inhibit interoperability from happening. This framework takes into account the basic concepts addressed by existing frameworks, and considers the three aspects proposed in the European interoperability framework (i.e. conceptual, organisational and technological) as the problems or barriers to be solved. The methodology also considers the interoperability concerns which define where the interoperation may take place, i.e. data, services, processes and business.

In this methodology three types of interoperability measures are considered:

1. The **interoperability potentiality measure**, which is concerned with the ability of an enterprise to interoperate without the need to know its interoperation partner and, consequently, with identifying a set of characteristics that have an impact on interoperability. The aim is

to measure the intrinsic capabilities of an enterprise to interoperate with an unknown partner. This measure must evaluate the accessibility and facilities an enterprise has to set up collaborations with others, the use of standards, the organisation's flexibility in the use of enterprise modelling, etc.

2. The **interoperability compatibility measure** evaluates a current relationship between known stakeholders. In other words, it is measured while the interoperability project is being carried out in order to establish how well two partners are suited to be able to interoperate.
3. The **interoperability performance measure** has to be set up during the operational phase to evaluate aspects related with the costs involved in implementing interoperability between two enterprises or systems in terms of time or economic investments.

The levels defined to measure interoperability potentiality are: *Isolated, Initial, Executable, Connectable and Interoperable*. Table 1 shows the description for each of these levels.

Table 1: Levels of interoperability potentiality from [14].

Level	Description
Isolated	Total incapacity to interoperate
Initial	Interoperability requires strong efforts that affect the partnership
Executable	Interoperability is possible but the risk of encountering problems is high
Connectable	Interoperability is easy even if problems can appear from distant partnership
Interoperable	Considers the evolution of levels and where the risk of encountering problems is low

The interoperability potentiality measure must evaluate, the accessibility and facilities an enterprise has to establish collaborations with others, the use of standards, the flexibility of its organisation, the existence of business models, and the use of ontologies and tools that make the exchange and transmission of knowledge easier. The level of interoperability potentiality maturity of an enterprise will evaluate how prepared it is to establish, smoothly and efficiently, collaborations with possible partners, relations with current and new customers, business agreements with suppliers, and communication with governmental or financial institutions. Being prepared and having a high level of interoperability potentiality maturity is a critical factor that will enable the enterprise to adapt to changes and new needs or requirements from the market in a dynamic manner, which will result in better business outcomes.

Although these works highlight the importance of measuring the interoperability potentiality of enterprises as a critical aspect for carrying out improvement projects, they do not put forward or define any proposals as regards how to measure this interoperability potentiality in a practical way.

Proposals are made for techniques for collecting information, such as questionnaires and interviews, which can be used to evaluate the situation in a particular project with specific participants and collaboration, although no details are given on how to draft these questionnaires or on what aspects or parameters

are to be evaluated. The proposed system of measurement indicates that the lack of methods is even more obvious when attempts are made to establish the interoperability potentiality of an enterprise.

3. Measurement of the interoperability potentiality maturity

The level of interoperability potentiality maturity will be given by the accessibility and facilities an enterprise has to establish relationships with others. Thus, the enterprise will need to have policies that are suited to the scope of the collaborations, projects for supporting interoperability in strategic plans, appropriate technological standards and tools for exchanging information, among other characteristics. Measuring interoperability maturity involves defining parameters and metrics so as to be able to assign these characteristics a value and to know the capacity the enterprise has to adapt to possible collaborations in an efficient way.

To measure the potentiality maturity, the starting point taken in this work is the maturity model proposed in [14, 15], where the levels of maturity are established as described earlier, i.e. *Isolated, Initial, Executable, Connectable, and Interoperable*.

The level of maturity is not homogeneous in all the areas and processes of the enterprise and it is therefore necessary to define different views of the enterprise that make it possible to detect the levels attained in each case. In this work the following views are proposed and described below: **Business, Process Management, Knowledge, Human Resources, ICT and Semantics**. Interoperability is accomplished if it is achieved in all areas or views of the enterprise. Hence, carrying out a separate evaluation of each of them will make it possible to detect where there is a greater need for improvement and to define projects that are suitable for each case.

3.1. Views of the enterprise

As mentioned in the introduction, enterprise interoperability is achieved if enterprises are capable of collaborating efficiently, while preserving their identity and their own particular way of doing business through mechanisms that act as facilitators. Bearing in mind the studies mentioned earlier, to achieve interoperability it will be necessary to consider the areas of interest or concerns (data, services, processes and business), the layers of the enterprise (business, knowledge, ICT, and semantic) and the domains that lend support to this efficient collaboration (EM, ONTO, A&P). Thus, in this work the views of the enterprise are defined taking into account these proposed layers and areas, and also considering human resources separately. The reason for this lies in the fact that human resources, their preparation and their willingness are a key factor when it comes to launching projects for improving interoperability. Bearing in mind the fact that one of the barriers that must be overcome in order to achieve full interoperability is organisational, specifically considering human resources as a view to be evaluated provides an added value. The proposed views are:

- The **Business (BS)** view considers the strategic aspects related with the interoperability, culture, mission, vision, values, and the economic, social and environmental policies of organisations. In order to interoperate, enterprises must have aspects that favour collaborations defined within their strategy. The use of Enterprise Modelling and business-related barriers must be evaluated as a support to this view.
- The **Business Process Management (BPM)** view includes the work methods (and therefore aspects related to productivity and cutting costs). Interoperability can only be reached when it is based on an efficient interaction with the processes of other enterprises, including processes that generate sustainability. This view takes into account aspects of processes and services, the business layers and data, and values the use (as a support) of Enterprise Modelling and of Architectures and Platforms.
- The **Human Resources (HR)** view, which considers the skills, competencies, roles, culture, collaborative capacity, and so forth, of employees who participate in interoperability processes. Aspects related with the three domains are evaluated, from the point of view of the use and training of the personnel of the enterprise.
- The **Knowledge (K)** view, which includes establishing a knowledge management system with which to identify, extract, represent, process and exploit the knowledge that facilitates efficient cooperation among the different enterprises. Its evaluation takes into consideration aspects related with data, services, support technology and the use of ontologies.
- The **Information and Communication Technologies (ICT)** view, which helps applications, data and communication components to interconnect automatically. This view considers aspects related with data and services from the technological point of view and the supporting platforms and architectures as the domain to be evaluated.
- The **Semantics (S)** view is used to facilitate the understanding of the terminology used by the enterprises that wish to collaborate, that is to say, it considers the aspects needed to ensure that the information is interpreted in the same way. It is related with the data layer and measures aspects related with their own ontologies and barriers.

Table 2: Enterprise views proposed and interoperability concerns and domains relationships.

Views	Concerns	Layers	Domains
Business	Business	Business, Semantic	EM
Process Management	Processes, Services	Business, Data, Semantic	EM, A&P
Human Resources	Services	Data, Technology, Semantic	EM, ONTO, A&P
Knowledge	Data, Services	Data, Technology, Semantic	ONTO, A&P
ICT	Data, Services	Technology	A&P
Semantic	Data	Data, Semantic	ONTO

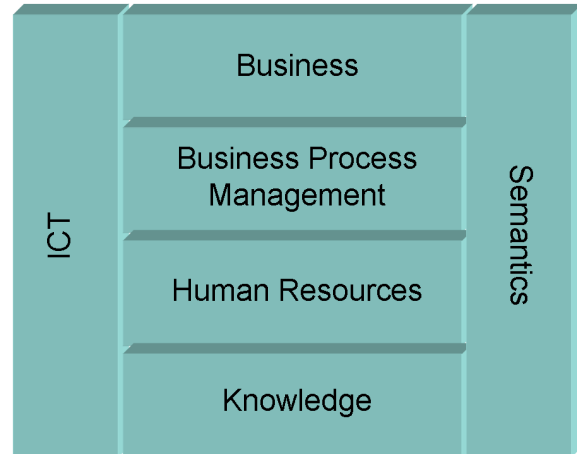


Figure 1: Enterprise Views.

3.2. Measurement parameters

In defining the measurement parameters of each of the views, all the relevant aspects identified in the literature that have to be considered to reach interoperability were taken into account, together with the interoperability domains that must be used as a support in each view (EM, A&P, ONTO), as shown in the last column of Table 2. Other works that have been considered to define these parameters are: results on collaborative network environments and formalisations as [23–25], applications in different industrial sectors about interoperability challenges [26, 27], use of enterprise modelling applied to interoperability as [28, 29], performance measurement applied to interoperability [30], previous works carried out in the fields of methodologies and interoperability [31], of knowledge modelling [32] and of measurement systems applied to virtual enterprises [33].

Next, the parameters for each view are defined and the reason why they are appropriate for each one will be outlined. Jointly with each set of parameters the relationships between each interoperability potentiality level and the measurement results of the parameters are shown in tables 3, 4, 5, 6, 7 and 8.

3.2.1. Parameters for the business view

The first step to measure the enterprise interoperability potentiality maturity is to ascertain the enterprise’s vision and strategy when faced with the challenges of reaching a suitable level of interoperability. In order to define the parameters of this

Table 2 shows each of the views that are defined, which interoperability concerns and layers are considered in, and which interoperability domains (EM, A&P, ONTO) will be measured in each one.

The ICT and Semantics views are considered, as can be seen in Fig.1, to be transversal, since they are interrelated with each of the other views. The parameters defined in the ICT view will concern, above all, general technological issues in the enterprise. In each of the other views, use of the ICT as a support will be valued.

view, it is deemed necessary to measure those aspects related with the strategic plans of the enterprise that have repercussions on its capacity to establish collaborations. Having certifications endorsed by official, especially international, bodies such as ISO standards will allow collaborations to be established more clearly and quickly. Since the processes in the enterprises will be organised and will comply with standards that other firms can rate positively when it comes to establishing new businesses or maintaining existing ones.

- **Sustainability and quality policies**, certified by official bodies: an enterprise that already has, or is implementing, these standards will be able to establish collaborations more efficiently.
- Any **certifications** in the area of quality and sustainability that the enterprise already has will be evaluated, as will those that are pending but are currently being assessed. A study will be conducted to compare the minimum standards that the enterprise must have by law and those that exist at state, autonomic and international level.
- The **capacity/willingness to adapt** to organisational, technological and social **changes**. Flexibility and adaptation to change can be evaluated by the number of training schemes that exist in the enterprise related to the incorporation of new business models or new technologies. Projects that have been carried out, or are due to be carried out soon, that take into account social aspects such as sustainability or gender equality will be valued. The new business approach towards aspects with social repercussions is an added value that can be decisive when it comes to establishing relations with public bodies that value such issues.
- **Strategy** as regards the use of **technologies** as a support to aid in collaborations with other enterprises. Projects carried out in recent years on improvements in the technological field that may result in better interactions with other firms and the proposals included in the strategic plans will be evaluated.
- **Policies** with respect to the use of **technological** and information standards. Whether or not this type of policy exists and the willingness to adopt them will be key factors that must be evaluated in order to know the extent to which the enterprise is ready to interoperate.
- **Policies** of (social, technological, etc.) **evaluation of possible partners** prior to establishing relations. The existence of procedures that allow the capacities and characteristics of a possible collaborator to be ascertained and evaluated, taking into account not only technological aspects but also organisational and social responsibility, will make it possible to know whether the company is prepared to be more efficient when selecting future collaborations.
- **Contractual policies** with regard to collaborations with other bodies. Evaluating the existence of conditions

beyond those contemplated by the law will make it possible to know whether the enterprise controls and establishes its own criteria when it comes to interoperating with another enterprise.

Table 3: Levels of interoperability potentiality for the Business view.

Level	Description
Isolated	Non-existent and are not included in the short- or long-term goals
Initial	Exist tacitly and are considered for inclusion within medium- and short-term goals
Executable	Partially existent and are included in the strategic goals and plans of the enterprise
Connectable	Exist and are planned
Interoperable	Exist, are planned and are taken into account within the enterprise's plans for continuous improvement

3.2.2. Parameters for the Process Management view

The processes view will evaluate the level of formalisation that exists, the documents and use of enterprise modelling languages, the capacity to exchange and make publicly known the parts of the processes in which collaborations with other firms may take place.

- **Identification of processes** in which there is some collaboration with external institutions: it is necessary to find out whether the processes are identified, whether they are documented and within the collaborators reach, and whether they are represented in some enterprise modelling standard.
- **Formalisation of processes**: tacit, documented, modelled procedures. Evaluations will be conducted to determine whether procedures have been defined or whether activities are simply carried out as they are learnt from experience. If the processes have been formally defined, they will be evaluated to determine whether they are documented, together with the modelling languages and tools used to represent them.
- **Process planning**: studies will be conducted to examine whether processes are planned and, if so, the deadlines that are set and the level of detail to which they are planned.
- **Quality measurement and control**: in processes that involve collaboration with external institutions, in which cases methods and indicators have been developed to measure the quality and to control processes

3.2.3. Parameters for the Human Resources view

One aspect that is fundamental in order to have a good level of interoperability potentiality measure is how prepared the workers are, the plans for training that exist in the company, and how easily human resources adapt to changes. The parameters to be measured in this view are:

- **Organisational structure**: there is a well-defined and documented structure with a clear hierarchy and allocated functions.

Table 4: Levels of interoperability potentiality for the Process Management view.

Level	Description
Isolated	Few amount of tacit or routine knowledge about the organisation and management of processes
Initial Executable	Some informal and little-known written specifications exist Written specifications that are known to those responsible for process management and a certain amount of short-term planning
Connectable	Formal specifications, documents and models exist, and the processes are planned
Interoperable	Standard processes models exist, are improved and are taken into account in the company's short- and long-term plans for continuous improvement

- Assigned **roles**, flexibility to exchange jobs.
- **Training**: the enterprise has a training plan that takes into account different levels and contents depending on the tasks and human resources. For example, training in the use of technologies, in enterprise modelling languages, in new quality policies, languages, etc.
- **Evaluation and control**: assigning resources to follow up, supervise and make processes known.

Table 5: Levels of interoperability potentiality for the Human Resources view.

Level	Description
Isolated	There is no organised structure or plans for training
Initial Executable	There is a tacit, informally recognised structure There is a clear organised structure and the possibility of training of human resources is taken into consideration
Connectable	There is a clear organisational structure and plans for training human resources
Interoperable	There is a clear dynamic organisational structure, plans for continuous training, and policies and incentives for improvement

3.2.4. Parameters for the Knowledge view

The knowledge view covers aspects concerned with how knowledge is managed and transmitted, not only internally, but also how it is identified and transmitted to possible collaborators that need to use it. The interoperability potentiality measure of an enterprise will, in turn, be marked by the level of maturity that exists in the management of its knowledge, since greater specification of enterprise knowledge makes the company better prepared to establish efficient collaborations with possible stakeholders that seek to interoperate with it.

Furthermore, companies have a greater level of maturity in this field if they have the capacity to apply the ICT to enterprise knowledge management by a Knowledge Management System (KMS). The first aim would be to identify the knowledge that is going to be managed by the system, that is to say, the target knowledge. To identify the target knowledge, it is better to define blocks of knowledge, which are understood as being any elements belonging to the organisation or to its surroundings, and for interoperability goals blocks regarding their collaborations, that contain a particular type of knowledge [34].

The parameters to be measured in this view are:

- **Knowledge that is exchanged** and points of interaction, which will make it possible to detect the existence of at least tacit knowledge in the processes of the enterprise.
- **Channels of knowledge** to evaluate the use of suitable methods and technologies for the exchange of information.
- Existence of a **Knowledge Management System**.
- **Identification** of the **conceptual blocks** of knowledge and the target knowledge that the enterprise wishes to manage; thus, evaluations are carried out to determine whether possible stakeholders and points for exchanging or sharing knowledge have been identified.
- **Type of conceptual blocks** on which the target knowledge has been defined. For example, the level of interoperability potentiality will be higher if it has been defined on the following blocks: suppliers, customers, administration and environment.
- **Identification** of the explicit and tacit **sources** of knowledge.
- **Knowledge modelling** that has been identified, so that the enterprise's target knowledge concerning its processes, products, resources, suppliers, customers, etc. is made explicit.
- **Exploitation** of knowledge by means of a KMS.

Table 6: Levels of interoperability potentiality for the Knowledge view.

Level	Description
Isolated	There is no concern for or definition of knowledge management
Initial	The need has been detected and the idea of incorporating the development of a knowledge management system within the plans of the enterprise is being considered. There is tacit knowledge
Executable	Explicit knowledge exists but it is not managed
Connectable	Explicit knowledge and a management system in need of improvement both exist
Interoperable	A knowledge management system and plans for continuous improvement both exist

3.2.5. Parameters for the ICT view

Information technologies play a fundamental role in achieving a high level of maturity. The use of standard platforms and technologies is essential to be able to interoperate and to be able to open up new collaborations efficiently. In this section the use of these technologies and projects that have been planned to improve them will be evaluated. The parameters are:

- **ICT resources** for communication: which ones exist, which ones are standard.
- **Systems** for the integrated management of information: whether they exist, are used and training is carried out in this respect.

- **Planning** of technology needs in order to lend support to collaborations.
- **Policies** for the development of platform-independent technologies that can be adapted to different systems.
- **Infrastructures** to support **process management** (Work flow, EM tools, etc.)
- **Infrastructures** to support the **control** of running both internal processes (auditing, register of the use of the services) and those of external entities.
- **Services for public use** if they exist, their use is recorded, they are planned for the future.

Table 7: Levels of interoperability potentiality for the ICT view.

Level	Description
Isolated	There are no ICT platforms capable of communicating with other enterprises
Initial	There are systems that could connect with others, but large investments are required to do so
Executable	Connections could be made with medium/minimum investments and the improvements have already been planned
Connectable	Connections can be made with the least amount of needs, and there are already plans for improvement
Interoperable	Connections can be made efficiently and with only a few changes. There are plans for continuous improvement

3.2.6. Parameters for the Semantics view

The Semantics view is concerned with ensuring that the precise meaning of any exchanged information can be understood by any other processes, people, collaborative external enterprises and ICT applications. So, taking in account that Ontology domain addresses the semantics necessary to ensure interoperability [35], the high level of maturity will be achieved if the use of ontologies is applied to support collaborations and internal business management. The proposed parameters are:

- Existing **databases and contexts** where these databases operate. Existing mappings between databases.
- **Collections of terms:** whether they exist and whether there are methods to collect and process them.
- **Planning technologies** for supporting these collection of terms.
- **Existing infrastructures** to support and to map collection of terms.
- **Mapping** between own collection of terms and **public thesaurus**.
- **Existing tools** that can be applied to support terms and to develop the own ontology.
- **Planning** about acquiring **ontology** tools and training human resources on the use of these tools.
- **Ontology** developed to support both semantic webs and collaboration processes.

Table 8: Levels of interoperability potentiality for the Semantic view.

Level	Description
Isolated Initial	There is no collection of terms and no homogeneity There are some manual lists or simple records of general and common terms
Executable	There are data bases that can be managed in order to define and identify terms and to establish correspondences between them and other thesaurus of the industrial sector
Connectable	There is a common thesaurus that is used internally and for external collaborations
Interoperable	There is a maintainable ontology to clarify the correct comprehension of the terms used both internal and externally

3.3. Evaluation of the measurement

In order to evaluate the interoperability potentiality level, a step based methodology is proposed in section 4. This methodology is supported by a questionnaire that must be developed considering the parameters already defined. Each parameter is transformed into one or several questions on a questionnaire, which is adapted to the enterprise taking into account its business processes and the (current and potential) collaborations that were previously identified and which may be internal (between departments) or with external entities. The questions can be quantifiable in absolute values, scored on a given scale (from 1 to 5), with yes/no answers or as a percentage (for example % of employees with a higher education). In any case, each question must include a section where the respondent can say whether this aspect needs improving or not, or if the current situation is seen to be sufficient.

While the questionnaire is being developed, weightings must be defined for each of the questions and must be established which results correspond to each of the levels, taking into account the previous descriptions produced in the tables for each of the views.

4. Phases of the maturity measuring methodology

Measurement of the maturity potentiality must be a rigorous, organised and planned process that is based on conceptual and organisational aspects of the enterprise; it must also take into account the business processes that have been defined in the company. The phases of the methodology will be carried out progressively and iterations can also take place. This means that it is necessary to repeat or improve part of the results from the previous phase as the measurement project advances.

Five phases are defined. The aim of the first is to establish the scope, goals and general aspects of the company as regards interoperability. The aim of the central phase of the methodology is to collect information in order to establish the level of enterprise interoperability potentiality. The main technique employed consists in the complete and detailed questionnaire based on the parameters that were defined and which takes into account the business processes and collaborations that were identified in the previous phase.

Next, each phase of the methodology is described in greater detail. Fig.2 shows graphically the phases proposed and the main results obtained from each phase, according to the enterprise views defined.

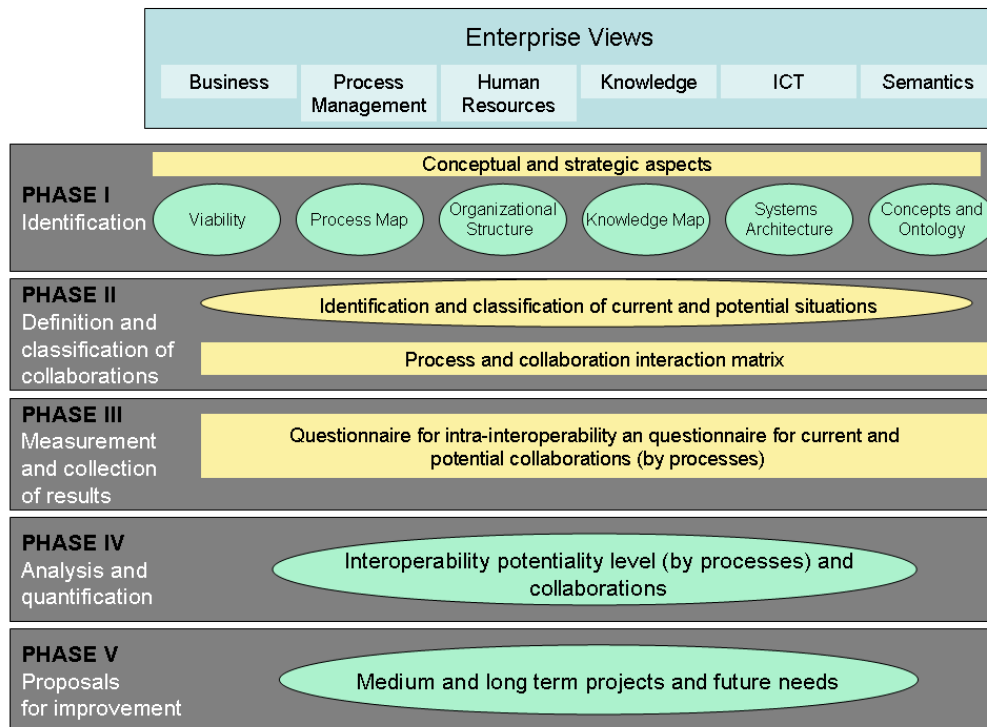


Figure 2: Measuring Methodology.

4.1. Phase 1: Identification

The basic aim of this phase is to define the conceptual aspects of the enterprise as regards interoperability, taking into account the business view and the strategic and cultural goals. Since it represents the beginning of the project, it is necessary to define the personnel that will be involved in the work, to establish the scope (areas and/or processes) to be evaluated and possible restrictions concerning time or costs, and to estimate and schedule the project in order to control it.

In this phase the parameters of the business view are taken into account in order to develop questionnaires and interviews to evaluate the strategic plans, the policy of the enterprise and the preparation degree to cope with the challenge of improving its interoperability potentiality.

The techniques to be utilised in this phase are information collection techniques, above all face-to-face interviews with company managers and more especially with those who are more deeply involved in the strategic and improvement projects at the enterprise, such as quality, information technologies or I+D managers. Documents about quality standards, the company mission and its vision are also collected. This first result makes it possible to evaluate whether it is feasible to continue with the rest of the phases or if it would be better to limit the study and measurement to the interrelations among the departments in order to carry out a preliminary assessment of internal interoperability in the company. In an enterprise where the business strategy does not include fundamental aspects such as policies on external collaboration or strategies for improving these collaborations or the ICT, there will be no point in

evaluating their interoperability potentiality maturity in further detail in the remaining views.

The results are: **planning**, where criteria and priorities are established in order to delimit the scope of the project and its feasibility; **definition of the strategy** for carrying out the following phases of the measurement project, and **evaluation of interoperability potentiality in the Business view**.

4.2. Phase 2: Definition and classification of collaborations

After identifying the fact that the enterprise has established or planned certain policies or needs in relation to interoperability as part of its strategic plans, the second phase has three basic aims:

1. To identify and classify the **collaborations between departments** for each of the processes, in order to evaluate intra-interoperability.
2. To identify and classify the **external entities** with which situations of interoperability take or may take place, bearing in mind each of the enterprise's business processes.
3. To identify the **collaborations with these external entities** for each process, also taking into account the departments involved.

The first step is to study and review the organisational structure of the company, the process map and to identify the collaborations that exist between each department for each of the enterprise's business processes.

The process map and the organisational structure are then used to identify and classify the types of collaboration that can

be set up and the stakeholders, for example financial institutions, governmental entities, large, small or medium-sized supplier enterprises and large, small or medium-sized customers. It is necessary to have reliable up-to-date information about the business processes that the company carries out, the departments involved and its business strategy with respect to other supplier or purchaser entities which it may interoperate with. Information about the organisation and the hierarchical structure of the company and its process map will be used as working documents. The results of identifying and classifying the departments involved in each process will be as follows:

- An **interdepartmental interaction matrix** for each department showing the other departments it is collaborating with (for each process it is involved in).
- Classification of **processes** in which **interoperability exists or could exist** with external institutions.
- Classification of **current partners** or collaborators.
- Classification of **possible** and **future partners**.
- A **matrix of external collaborations** considering interactions for each department, which identifies (for each process in which a particular department is involved) the types of stakeholders it currently or potentially collaborates with.

4.3. Phase 3: Measurement and collection of results

This phase measures the maturity by applying information collection techniques and by taking into account the collaboration matrices that were obtained earlier and the parameters for the Process Management, HR, Knowledge, ICT and Semantics views.

It is essential to know the degree of involvement of the staff responsible for the departments in the enterprise to obtain a questionnaire that is adapted to their characteristics, while also being simple for respondents to answer and easy to understand. As mentioned above, in developing the questionnaire weightings are designed for each of the questions.

The main result from this phase is the questionnaire for evaluating interoperability potentiality maturity, adapted to the structure and processes of the enterprise. During the phase in which the questionnaire is being developed, different iterations may occur that lead to a redefinition of some of the aspects identified in phase 1 until a final questionnaire is obtained adapted to how the interactions take place in the course of the day-to-day undertakings of the enterprise. Other outcomes that will therefore occur in this phase include:

- Review of the documents obtained in Phase 1.
- Definition of **tactical goals**.
- **Questionnaires** to evaluate the interoperability potentiality for each process for the Process Management, HR, Knowledge, ICT and Semantics views.
- **Completed questionnaires**.

4.4. Phase 4: Analysis and quantification

With the answers given in each of the questionnaires, and taking into account the levels and weightings assigned to each parameter, a detailed analysis must now be performed to identify current situations and those which have been considered to be in need of improvement. Since the study is conducted by processes and views, one particular process can have a high level of interoperability in one view and with respect to one group of collaborators, but at the same time have shortcomings or a low level in another aspect or view.

In this phase data analysis techniques and cost/benefit analysis must be used, and the members of the work team must meet to compare results with the users. The results are the **potentiality interoperability levels** and the identification of **needs of improvement**, both of them detailed for each process, collaboration (internal, current and potential with external entities) and view.

4.5. Phase 5: Proposals for improvement

Once the results from the questionnaires have been quantified, an analysis must be conducted to study and evaluate the points or processes where the level of interoperability reached needs to be improved. In this analysis the strategic aspects identified initially in the first activity must be taken into account. The result of this evaluation is a proposal for projects arranged in order of priority, in which the current "AS-IS" situation and the one that is sought (or "TO-BE") are both established. Traditional cost/benefits analysis is a very useful tool to define the priority of the projects within the integration programme. However, organisational, technical and operational aspects should also be considered.

The results are a proposal including: **medium and long-term interoperability improvement projects**, **interoperability future needs**, and a **viability analysis**.

5. Case study

This section describes an application of the methodology to measure the interoperability potentiality in an enterprise in the textile sector. The application allows the proposal to be validated and provides some practical aspects that can guide similar applications in other cases. The characteristics of the enterprise provide with the basis with which to validate the methodology.

The enterprise in which the application is being carried out as a case study is a large company from the textile sector that is firmly rooted in both the Spanish national and the international markets. It has a complete supply chain, logistics centres separated from its centres of production, and suppliers of finished and semi-finished products in different countries. It has different types of customers including micro/small, medium-sized and large enterprises, with a wide range of technologies and policies. Like any company, it has relations with public or governmental and financial institutions.

An evaluation of the firm's potentiality to interoperate both with customers and with suppliers of raw materials and

intermediate or finished products will allow have a number of benefits for the company. For example, it will be able to develop strategic plans that help it to improve these collaborations, make more reliable choices (in terms of results) regarding possible partners in interoperability projects, and evaluate certain aspects that, due to the production and supply structure, are crucial to the enterprise.

5.1. Application

Initially an introductory meeting was held with managers from the company and those in charge of a number of different departments. At this meeting the basic concepts and aims of the work to be carried out were explained and the benefits that the enterprise would gain from collaborating in the project were also outlined. More specifically these benefits were: (1) a reappraisal of its organisational structure and process management; (2) measurement of the level of interoperability potentiality; (3) diagnosis of its situation in this area; and (4) definition and study of the feasibility of projects for improving interoperability in the short and medium term.

Following this meeting a work team was set up that included both research personnel and management staff from the company’s Quality and Information Systems departments.

5.1.1. Identification

After conducting a preliminary research task, a questionnaire was administered to managers in order to be able to determine the scope of the project as far as processes and departments were concerned. This first activity made it possible to define the conceptual aspects, the scope and the field of the evaluation of the interoperability potential, taking into account the business view, as described in phase 1, and the parameters that were defined for this view.

This evaluation of conceptual aspects of interoperability made it possible to detect the fact that the enterprise applies interoperability principles (although not explicitly) to carry out different transactions and processes involving external collaborators, such as financial and governmental institutions, suppliers and customers. A suitable but insufficient policy regarding the use of ICT as a support for business processes was also found to exist.

The project was carried out following the steps from the methodology. Once the conceptual aspects had been established taking into consideration the business view, the documentation was reviewed and the information about the organisation of the company and the management of its business processes was updated.

5.1.2. Definition and classification of collaborations

The most significant groups of potential collaborators were identified for each of the business processes, and the common features and the most relevant aspects to be taken into account with a view to possible collaborations were also defined. This information was then used to create a matrix which allowed current and potential collaborations to be identified for each process. The collaborations matrix was used as the basis for

developing the interoperability questionnaire, which was done in a particular way for each process by asking only about the collaborations that had been identified.

In Fig. 3 a partial example of the internal collaboration matrix, for each macro-process and departments involved, obtained is shown. The departments are coded by letters and in the matrix a *X* shows if there is a collaboration between the department in the column and in the row, for a micro-process in particular.

Macro-process	Micro-process	Department	Collaboration Departments									
			A	B	C	D	E	F	G	K	...	
Planning	Quality policy	B	X		X	X	X					
	Planning of the SGC	B				X						
	Planning of aims	B				X		X	X			
	Review of the System	B				X		X	X			
Product Development	Design	F	X	X			X		X			
	Evaluation	K		X					X			
	Prototyping	F		X						X		
	Design improvement	F	X	X			X		X			
Logistic	Product Preparation	K			X					X		
	Transport	G									X	

Figure 3: Internal collaboration matrix.

5.1.3. Measurement and collection of results

Development of the questionnaire required several iterations, and the initial versions were reviewed by the managers in the team to analyse how appropriate and easy to understand the questions were. Once the final version of the questionnaire had been obtained, it was applied with the collaboration of the managers in the Quality and Information Systems departments. This generated more confidence in the different managers who were interviewed and enabled more reliable results to be obtained more efficiently.

As an example in Fig. 4 a partial matrix of process collaborations, with one of the questions applied, considering the parameter about *Formalisation of processes* and the use of EM, is shown. In this matrix the current situation can be valued from 1, the worse situation, to 5 the best situation. The users also can identify if there are needs of improvement in the column *OK/NO*.

5.1.4. Analysis and quantification

After obtaining the filled-in questionnaires, the results obtained by the members of the research group involved in the project were then analysed and quantified. One implicit result was the positive evaluation of the efficiency and correctness of the questions that were posed. Statistics and comparisons of data were carried out in parameters where the answers could be grouped and quantified. A qualitative report was also drawn up that included not only an evaluation of the answer, but also a list of the points in which the greatest need for improvement

Are the processes represented in a predefined notation? (modelling languages or standard Notations)

Macro-process	Micro-process	Interact with	Current Situation					OK/NO	Comments	
			1	2	3	4	5			
Resource Management	Resource planning	Employment agencies		x				N		
		Employment services	x					N		
	Resource supply	Employment agencies	x					N		
		Employment services				x		Ok		
Product Distribution	Planning	Large Customers			x			N		
	Evaluation	Large Customers	x					N		
	Preparation	Dealers				x		Ok		
	Delivering	Transport Companies				x			Ok	
		Large Customers			x				N	

Figure 4: Question example with different processes.

was detected. The final result was a detailed evaluation of the interoperability potentiality for each process and view.

5.1.5. Proposals for improvement

Results differed depending on the field and this detailed evaluation itself contributed more added value, since it allowed a list of priorities to be established in terms of the aspects with the most critical needs. In addition to this diagnosis in relation to interoperability, a proposal was also put forward for short- and long-term improvements in the departments in which the most urgent needs were detected. And the corresponding feasibility study was also carried out for the short-term projects that were identified.

5.2. Lessons learned

The methodology provides a series of clear steps to be followed and a set of results that allow a detailed evaluation of the interoperability potentiality to be performed; at the same time, an analysis of different organisational aspects of the enterprise can also be conducted. The development of the questionnaire as the central and fundamental task in the evaluation of maturity potentiality must be a job that is carried out in close collaboration with qualified staff from the firm. Results cannot be only quantitative and it is necessary to take into account other aspects that are deduced from meetings and from open questions where managers can suggest improvement needs and bear in mind other specific situations. In addition to an evaluation of its level of maturity in the area of interoperability potentiality and the aspects in need of improvement, the enterprise also gained other benefits from applying this methodology, such as:

- Those in charge of the departments involved improved their knowledge and training in relation to interoperability aspects.
- Its business processes were reviewed, above all those in which it collaborates with external institutions.

- The enterprise was already carrying out some of its collaborations efficiently, but evaluating them by means of this work enabled it to detect aspects that could be improved and that were not being implemented properly.
- Definition and classification of its current and potential collaborators.
- Having criteria that enabled it to evaluate and select possible collaborators.

6. Conclusions and future work

Outcomes and formal proposals have been produced in the field of research on interoperability for several decades. Although these outcomes have good repercussions in governmental institutions and large organisations, for example in the banking sector, for many enterprises it is still a concept that is difficult to understand. Yet, in their day-to-day undertakings, most enterprises perform transactions or business processes with other companies that can be identified as interoperability.

The improvements that have taken place and which have had most impact on the business sector are mainly related with aspects concerned with technology and information systems. Nevertheless, in order to achieve a good level of interoperability it is also necessary to take into account aspects related with process management, organisational features, human resources and the semantics of the company. In order to improve all the aspects that affect the capacity to interoperate, first it is necessary to be able to evaluate the AS-IS situation, that is to say, to measure the level the enterprise is on so as to be able to propose improvements.

In addition to knowing their capacity to interoperate with known collaborators, enterprises also need to know how prepared they are to establish relations in the future. Evaluating the level of interoperability potentiality (taking into account all the views of the enterprise with details of each process) is beneficial because it enables the company to become aware of its strong points in this field and of the improvement projects it could consider carrying out in order to raise its chances of interoperating more successfully. To this end, as seen in the application in an enterprise, it is very useful to have a set of methodological guidelines to indicate the procedures to be carried out. The level of interoperability potentiality cannot be improved in such a way that it goes straight from an initial level (level 1) to an interoperable level (level 5); instead it is necessary to implement projects that allow the processes of the enterprise to gradually evolve from one level to the next one. It is also important to note that not all the processes in an enterprise require the same level of interoperability. In some processes a medium level may be sufficient while in others requirements imposed by the market or by other stakeholders may call for the highest level.

Parameters related with the domains of interoperability and with the conditions that the company processes must fulfil in order to be prepared for new collaborations, while

also taking into account different views, can be used by the management of an enterprise as a solid foundation on which to carry out diagnoses and proposals for improvement projects. With regard to future work in this area, some reflections need to be made on the new proposals that research on interoperability is evolving towards, and more particularly on the recommendations suggested by Future Internet Enterprise Systems Cluster [36]. Research recommendations point to the idea that a new notion of enterprise and enterprise network is arising. Various lines of research that take the new scenario into account have been suggested, e.g. incorporating the role of enterprise culture in enterprise collaboration or the notion of sustainability, including economic, environmental and social dimensions.

Bearing this proposal in mind, the evolution of the work presented in this paper should consider new characteristics for measuring interoperability potentiality that take into account the aspects of this new approach by including parameters in each view in order to evaluate them.

References

- [1] G. Doumeingts, D. Chen, Basic concepts and approaches to develop interoperability of enterprise applications, in: L. M. Camarinha-Matos, H. Af-sarmanesh (Eds.), PRO-VE, Vol. 262 of IFIP Conference Proceedings, Kluwer, 2003, pp. 323–330.
- [2] T. C. Ford, J. Colombi, S. Graham, D. Jacques, A survey on interoperability measurement, in: 12th ICCRTS International Command and Control Research and Technology Symposium. Adapting C2 to the 21st Century, 2007.
- [3] F. Vernadat, Interoperable enterprise systems: Principles, concepts, and methods, *Anual Reviews in Control* 31 (2007) 137–145.
- [4] D. Chen, G. D. F. Vernadat, Architectures for enterprise integration and interoperability: Past, present and future, *Computers in Industry* 59 (2008) 647–659.
- [5] M. Kasunic, W. Anderson, Measuring systems interoperability: Challenges and opportunities, Tech. rep., Carnegie Mellon University and Software Institute (2004).
- [6] C4ISR, C4ISR Architecture Working Group. Levels of Information Systems Interoperability (LISI) (1988).
- [7] P. Gottschalk, Maturity levels for interoperability in digital government, *Government Information Quarterly* 26 Issue 1 (2009) 75–81.
- [8] T. Clark, R. Jones, Organisational Interoperability Maturity Model for C2, in: Command And Control Research And Technology Symposium (CCRTS), 1999.
- [9] IDEAS, Interoperability Development for Enterprise Application and Software Project (IST-2001-37368), <http://cordis.europa.eu/fp5/home.html> (2006).
- [10] INTEROP, Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software NoE (IST-2003-508011), http://interop-vlab.eu/ei_public_deliverables/interop-noe-deliverables, http://interop-vlab.eu/ei_public_deliverables/interop-noe-deliverables (2008).
- [11] D. Chen, N. Daclin, Barriers driven methodology for enterprise interoperability, in: IFIP International Federation for Information Processing. Establishing The Foundation of Collaborative Networks, Vol. 243/2007 of IFIP International Federation for Information Processing, Springer Boston, 2007, pp. 453–460.
- [12] K. Dymond, A guide to the CMM, Understanding the capability maturity model for software., Process Inc US, 1995.
- [13] M. Ahern, A. Clouse, R. Turner, CMMI Distilled. A Practical Introduction to Integrated Process Improvement, SEI, Addison Wesley, 2004.
- [14] D. Chen, B. Vallespir, N. Daclin, An approach for enterprise interoperability measurement, in: Model Driven Information Systems Engineering: Enterprise, User and System Models, Vol. 341, CEUR-WS, 2008, pp. 1–12.
- [15] N. Daclin, D. Chen, B. Vallespir, Enterprise interoperability measurement - basic concepts, in: EMOI - INTEROP'06 Enterprise Modelling and Ontologies for Interoperability, Vol. 200 of CEUR, 2006.
- [16] N. Daclin, D. Chen, B. Vallespir, A methodology to develop interoperability of enterprise applications, *Information Control Problems in Manufacturing 2006* (2006) 591–596.
- [17] W. Guedria, Y. Naudet, D. Chen, Interoperability maturity models - survey and comparison -, *Lecture Notes In Computer Science* 5333 (2008) 273 – 282.
- [18] IEEE, IEEE Standard Computer Dictionary: A Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries, Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- [19] ATHENA, Advanced Technologies for Interoperability of Heterogeneous Enterprise Networks and their Applications IP (IST-2001-507849), http://interop-vlab.eu/ei_public_deliverables/athena-deliverables (2006).
- [20] G. Benguria, I. Santos, SME maturity, requirement for interoperability, in: Enterprise Interoperability III, 2008, pp. 29–40.
- [21] T. A. Pardo, G. B. Burke, Improving government interoperability: A capability framework for government managers, Tech. rep., The Research Foundation of State University of New York (October 2008).
- [22] A.-J. Berre, B. Elvesaeter, N. Figay, C. Guglielmina, S. Johnsen, D. Karlsen, et.al, The ATHENA Interoperability Framework., in: Enterprise Interoperability II, Springer, 2007, fubchal (Portugal).
- [23] C.-M. Chituc, A. Azevedo, C. Toscano, A framework proposal for seamless interoperability in a collaborative networked environment, *Computers in Industry* 60, Issue 5 (2009) 317–338.
- [24] Y. Naudet, T. Latour, W. Guedria, D. Chen, Towards a systemic formalisation of interoperability, *Computers in Industry* In press, available online 4 December 2009.
- [25] G. Zhao, J. Deng, W. Shen, CLOVER: an agent-based approach to systems interoperability in cooperative design systems, *Computers in Industry* 45, Issue 3, (2001) 261–276.
- [26] H. Panetto, A. Molina, Enterprise integration and interoperability in manufacturing systems: Trends and issues, *Computers in Industry* Volume 59, Issue 7 (2008) 641–646.
- [27] C.-M. Chituc, C. Toscano, A. Azevedo, Interoperability in collaborative networks: Independent and industry-specific initiatives the case of the footwear industry computers in industry, volume 59, issue 7, september 2008, pages 741-757, *Computers in Industry* 59, Issue 7 (2008) 741–757.
- [28] M. Roque, B. Vallespir, G. Doumeingts, Interoperability in enterprise modelling: Translation, elementary constructs, meta-modelling and UEML development, *Computers in Industry* Volume 59, Issue 7 (2008) 672–681.
- [29] C. Campos, R. Grangel, R. Chalmeta, Requirements to improve the synchronisation of inter-enterprise models, in: Business Process Management Workshops, 2005, pp. 353–362.
- [30] S. Blanc, Y. Ducq, B. Vallespir, Evolution management towards interoperable supply chains using performance measurement, *Computers in Industry* Volume 58, Issue 7, (2007) 720–732.
- [31] C. Campos, I. Mart, R. Grangel, A. Mascherpa, R. Chalmeta, A methodological proposal for the development of an interoperability framework., in: Model Driven Interoperability for Sustainable Information Systems (MDISIS'08) (CAiSE'08), Vol. 340 of CEUR-WS, 2008, pp. 47–57.
- [32] R. Grangel, R. Chalmeta, C. Campos, A modelling framework for sharing knowledge, *Lecture Notes in Artificial Intelligence*. Springer Verlag 4693 (2007) 1230–1237, ISBN: 978-3-540-74826-7.
- [33] R. Chalmeta, R. Grangel, Performance measurement systems for virtual enterprise integration, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 18 (2005) 73–84.
- [34] R. Chalmeta, R. Grangel, Methodology for the implementation of knowledge management systems, *Journal of the American Society for Information Science and Technology* 59(5) (2008) 742–755.
- [35] A. Duque, C. Campos, E. Jimenez-Ruiz, R. Chalmeta, An ontological solution to support interoperability in the textile industry, in: R. S. R. Poler, M. van Sinderen (Ed.), Second IFIP WG 5.8 International Workshop, IWFI 2009, Vol. 38, 2009, pp. 38–51, second IFIP WG 5.8 International Workshop, IWFI 2009.
- [36] CORDIS, Community research and development information service, <http://cordis.europa.eu/fp7/ict/enet/publications.en.html>.

