



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

METODOLOGÍA PARA LA GESTIÓN INTEGRAL
DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN.
MODELADO DE LA MAQUINARIA INDUSTRIAL COMO
UN SISTEMA DE GESTIÓN DE PROCESOS DE
NEGOCIO

Virgilio Gilart Iglesias

Tesis

Doctorales

www.eltallerdigital.com

UNIVERSIDAD de ALICANTE

TESIS DOCTORAL

**METODOLOGÍA PARA LA
GESTIÓN INTEGRAL DE LOS
PROCESOS DE PRODUCCIÓN**

**MODELADO DE LA
MAQUINARIA INDUSTRIAL
COMO UN SISTEMA DE
GESTIÓN DE PROCESOS DE
NEGOCIO**

UNIVERSIDAD DE ALICANTE

TESIS DOCTORAL

**METODOLOGÍA PARA LA
GESTIÓN INTEGRAL DE LOS
PROCESOS DE PRODUCCIÓN**

**MODELADO DE LA MAQUINARIA
INDUSTRIAL COMO UN SISTEMA DE
GESTIÓN DE PROCESOS DE NEGOCIO**

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Presentada por
VIRGILIO GILART IGLESIAS

Dirigida por
DR. FRANCISCO MACIÁ PÉREZ

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA INFORMÁTICA Y COMPUTACIÓN
FEBRERO DE 2010

Para Celia y Javier.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

*«Lo importante es no parar de
cuestionarse.»*

Albert Einstein.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Agradecimientos

Quisiera utilizar estas palabras para mostrar mi más sincera gratitud a todas aquellas personas que, de alguna forma u otra, han participado en el desarrollo de esta investigación, algunos porque se han implicado desde el principio, y otros, porque sin esperárselo, les he implicado yo, ya me conocéis. De todo corazón, gracias por vuestro tiempo, porque por experiencia, sé que hoy en día es el recurso más valorado y ese regalo sólo es capaz de ofrecerlo los amigos.

En primer lugar, me gustaría agradecer su dedicación a mi director y amigo Paco que, siguiendo una analogía con la gestión de procesos de negocio, ha sido el proceso estratégico que ha evitado que me desviase del objetivo de la investigación, ¡Aunque no te lo he puesto fácil!, es lo que tiene el *efecto jardín*. Gracias de todo corazón por ofrecerme tu inmensa sabiduría (*el wikipaco*), todas tus aportaciones, conversaciones a cualquier hora y tu ilusión por este proyecto, bueno, y por la cantidad de anécdotas que hemos compartido durante los viajes a los congresos.

En segundo lugar, no me olvido de mostrar mi inmensa gratitud a mis procesos de soporte que han estado en todo momento ofreciéndome su inestimable ayuda.

A mi familia. Gracias Mamá y Nacho por servirme de modelo en esta vida y enseñarme el afán de superación y de lucha, espero que estéis orgullosos de mí. A mis abuelos Rafael y Concha que me acogieron sin dudarlos cuando comencé la carrera, a pesar de

ser un indómito, y no han dejado de confiar en mí. ¡Abuelo!, ya casi he terminado *eso que hago en la Universidad*. Gracias a mis cuñados Beatriz, Diego y María, a mis tías Loles y Marga y a mi prima pero hermana de corazón Conchi, el tiempo que me habéis regalado en estos últimos meses ha sido fundamental para finalizar la investigación, os quiero. A mi amigo Toni por darte la paliza casi todos los días durante estos años y seguir siendo mi amigo.

A mis compañeros del grupoM José Vicente, Chinchán, Jorge Selva, Jorge Gea y a los miembros de la delegación cubana por aguantar y sufrir las presentaciones relacionadas con esta investigación, aportando siempre ideas constructivas que me han ayudado a mejorarla. Gracias a Felipe, Antonio, Carlos, Ildé y Alex por vuestra colaboración, seguramente sin ella todavía no estaría escribiendo estas palabras. A mis amigos y compañeros Héctor, Dani, Jero, Giorgio y JuanMa por vuestros consejos y apoyo durante este tiempo, cada día me enseñáis algo nuevo. Al gruñón de Mora y al *encanao* de Juan Antonio por permitirme ser vuestro amigo y estar ahí siempre que os he necesitado, ¡Ah!, y por las largas conversaciones durante la *post-reunión* de los viernes, ¡Cuánto se aprende! Quiero dar las gracias, desde lo más profundo de mi corazón, a mi inseparable amigo Diego por el que siento la mayor admiración. ¡Pera!, gracias por ayudarme en todo momento sin dudar abandonar aquello que estabas haciendo, gracias por tus ideas, gracias por tu amistad, gracias por tu humor, gracias por esos *tentempiés*, en definitiva, ¡Gracias amigo! Espero que lo de Mallorca no te haya supuesto ningún trauma y que nadie piense mal.

A todos los miembros del departamento, porque siempre que me he cruzado con alguno de vosotros os habéis interesado por mí y por mi tesis y habéis tenido palabras alentadoras y de cariño, gracias a todos.

Por último, me gustaría dar las gracias a las dos personas más importantes de mi vida, a Celia y a Javier. Gracias Celia por tu dedicación incondicional y por hacerme la vida tan fácil durante estos años, relativizando todos los problemas con los que me he

ido encontrando y anteponiendo mis necesidades a las tuyas, siempre, con una sonrisa, te admiro y te quiero. Por supuesto, gracias Javier por ser *mi chispa adecuada*.

Con todo mi cariño, gracias, porque he aprendido algo de todos vosotros y me habéis hecho crecer como persona y como un humilde investigador.

San Juan de Alicante, 14 de febrero de 2010

Virgilio Gilart Iglesias



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Resumen

En la presente tesis se ha llevado a cabo una investigación detallada centrada en el ámbito del e-Business aplicado a las organizaciones manufactureras, en concreto, en la aplicación de los sistemas de gestión de procesos de negocio e-Business en este tipo de organizaciones con el objetivo de abordar los requerimientos de los nuevos modelos de negocio caracterizados por la necesidad de flexibilidad y adaptación ante los cambios continuos introducidos por su entorno. De forma más específica, el objeto de la tesis se centra en modelar como servicios la maquinaria industrial para lograr integrar los procesos de fabricación dentro del sistema de gestión de procesos BPMS (Business Process Management System) de la organización.

Para llevar a cabo el objetivo se ha realizado un estudio de los antecedentes y de los trabajos relacionados con los ámbitos en los que se ubica la problemática definida. Este estudio ha permitido justificar el problema, plantear la hipótesis y proponer una solución novedosa con respecto a otros enfoques existentes en la línea de investigación.

Se ha definido el marco general donde se encuadra la propuesta para establecer una metodología que permita especificar, de forma sistemática, sistemas de gestión de procesos estratégicos basados en las TI. Una vez definida la metodología, se ha aplicado al entorno de la manufactura materializándose en un proceso de normalización de la maquinaria industrial, objeto de la presente investigación. Este proceso se compone, a su vez, del proceso de normalización conceptual y del proceso de normalización tecnológica de la maquinaria industrial.

El proceso de normalización conceptual de la maquinaria industrial se ha centrado en la definición de una metodología que proporcione una visión sistemática de los procesos de fabricación llevados a cabo en la maquinaria industrial, conforme a la teoría de gestión de procesos de negocio más adecuada para el presente momento, en este caso el paradigma BPM (Business Process Management).

El proceso de normalización tecnológica de la maquinaria industrial se ha centrado en la propuesta de una metodología que permita crear sistemáticamente la arquitectura tecnológica más adecuada, en cada momento, para sustentar las funcionalidades definidas en el modelo BPM de la maquinaria industrial, manteniendo los principios de los nuevos modelos de negocio y producción.

El resultado es la maquinaria industrial ofrecida como servicio y vista como un conjunto de procesos más del mapa de procesos general de la organización. Este concepto lo hemos denominado maquinaria industrial como servicio o IMaaS por sus siglas en inglés (Industrial Machine as a Service).

Como paso final para validar la investigación se han implementado tres prototipos distintos de la maquinaria industrial como servicio (arquitectura IMaaS), se ha diseñado un escenario en un entorno realista donde se pudiera reproducir la problemática tratada en el trabajo y, finalmente, se ha diseñado un conjunto de experimentos basados en la hipótesis de partida que han permitido demostrar la viabilidad de la propuesta.

Resum

En la present tesi s'ha portat a terme una investigació detallada centrada en l'àmbit de l'e-Business aplicat a les organitzacions manufactureres, en concret, en l'aplicació dels sistemes de gestió de processos de negoci e-Business en aquest tipus d'organitzacions amb l'objectiu d'abordar els requeriments dels nous models de negoci caracteritzats per la necessitat de flexibilitat i adaptació davant els canvis continus introduïts pel seu entorn. De forma més específica, l'objecte de la tesi se centra a modelar com serveis la maquinària industrial per a assolir integrar els processos de fabricació dins del sistema de gestió de processos BPMS (Business Process Management System) de l'organització.

Per a portar a terme l'objectiu s'ha realitzat un estudi dels antecedents i dels treballs relacionats amb els àmbits en els quals se situa la problemàtica definida. Aquest estudi ha permès justificar el problema, plantejar la hipòtesi i proposar una solució nova pel que fa a altres enfocaments existents en la línia d'investigació.

S'ha definit el marc general on s'enquadra la proposta per a establir una metodologia que permetia especificar, de forma sistemàtica, sistemes de gestió de processos estratègics basats en les TU. Una vegada definida la metodologia, s'ha aplicat a l'entorn de la manufactura materialitzant-se en un procés de normalització de la maquinària industrial, objecte de la present

investigació. Aquest procés es compon, al seu torn, del procés de normalització conceptual i del procés de normalització tecnològica de la maquinària industrial.

El procés de normalització conceptual de la maquinària industrial s'ha centrat en la definició d'una metodologia que proporcione una visió sistemàtica dels processos de fabricació portats a terme en la maquinària industrial, conforme a la teoria de gestió de processos de negoci més adequada per al present moment, en aquest cas el paradigma BPM (Business Process Management).

El procés de normalització tecnològica de la maquinària industrial s'ha centrat en la proposta d'una metodologia que permeti crear sistemàticament l'arquitectura tecnològica més adequada, a cada moment, per a sustentar les funcionalitats definides en el model BPM de la maquinària industrial, mantenint els principis dels nous models de negoci i producció.

El resultat és la maquinària industrial oferida com servei i vista com un conjunt de processos més del mapa de processos general de l'organització. Aquest concepte ho hem denominat maquinària industrial com servei o IMaaS per les seues sigles en anglès (Industrial Machine as a Service).

Com pas final per a validar la investigació s'han implementat tres prototips distints de la maquinària industrial com servei (arquitectura IMaaS), s'ha dissenyat un escenari en un entorn realista on es poguera reproduir la problemàtica tractada en el treball i, finalment, s'ha dissenyat un conjunt d'experiments basats en la hipòtesi de partida que han permès demostrar la viabilitat de la proposta.

Abstract

In this thesis a detailed investigation focused on the area of e-Business applied to manufacturing organizations has been carried out, in particular, it is focused on using e-Business business process management systems in such organizations with the aim of addressing the requirements of the new business models characterized by the need for flexibility and continuous adaptation to changes introduced by their environment. More specifically, the goal of this thesis focuses on modeling as industrial machinery services to achieve integration of manufacturing processes within the process management system BPMS (*Business Process Management System*) of the organization.

To accomplish this objective has been made a study of the history and related works with the areas in which lies the problems identified. This study has helped justify the problem, hypothesize and propose a novel solution over other existing approaches in the research field.

It has defined the general framework which fits the proposal to establish a methodology to specify, in a systematic way, strategic process management systems based IT. Once defined, the methodology has been applied to the manufacturing environment materializing in industrial machinery normalization process, the subject of this investigation. This process consists, in turn, the conceptual normalization process and technology normalization process of industrial machinery.

The conceptual normalization process of industrial machinery has focused on defining a methodology that provides a systematic view of the manufacturing processes carried out in industrial machinery, according to the theory of business process management best suited to the this time, in this case the paradigm BPM (Business Process Management).

The technology normalization process of industrial machinery has focused on the proposal for a methodology to systematically create more appropriate technology architecture, every moment, to support the functionality defined in the BPM model of industrial machinery, maintaining the principles of new business models and production.

The result is the industrial machinery offered as service and seen as a set of processes over the map of general processes of the organization. We have named this concept Industrial Machine as a Service or IMaaS.

As a final step to validate the research have been implemented three different prototypes of industrial machinery as a service (IMaaS architecture), has been designed a scenario in a realistic environment where they could reproduce the problem treated in the workplace and, ultimately, is designed a set of experiments based on the underlying assumptions that have demonstrated the viability of the proposal.

Resumen del Contenido

INTRODUCCIÓN,	1
ESTADO DEL ARTE,	21
MARCO FORMAL Y PROPUESTA GENERAL DE METODOLOGÍA,	63
NORMALIZACIÓN CONCEPTUAL DE LA MAQUINARIA INDUSTRIAL,	85
NORMALIZACIÓN TECNOLÓGICA DE LA MAQUINARIA INDUSTRIAL,	121
PRUEBAS Y VALIDACIÓN,	183
CONCLUSIONES,	245
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS,	257

Contenido

AGRADECIMIENTOS	IX
RESUMEN	XIII
RESUM	XV
ABSTRACT	XVII
RESUMEN DEL CONTENIDO	XIX
CONTENIDO	XXI
FIGURAS	XXV
TABLAS	XXXI
CAPÍTULO 1	
<u>INTRODUCCIÓN</u>	<u>1</u>
IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	10
HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	12
PROPUESTA DE SOLUCIÓN	14
METODOLOGÍA	15
PLAN DE TRABAJO	17

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE **21**

TEORÍAS DE PROCESOS DE NEGOCIO	22
TEORÍAS MODERNAS DE GESTIÓN DE PROCESOS DE NEGOCIO	29
PARADIGMA DE ARQUITECTURA ORIENTADA A SERVICIOS	35
ESPECIFICACIONES Y TECNOLOGÍAS DE SERVICIOS WEB	40
INTEGRACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE PRODUCCIÓN CON LOS NIVELES SUPERIORES DE LA ORGANIZACIÓN	53
REQUERIMIENTOS DE LOS NUEVOS MODELOS DE PRODUCCIÓN	57

CAPÍTULO 3

MARCO FORMAL Y PROPUESTA GENERAL DE LA METODOLOGÍA **63**

NOMENCLATURA PARA LA REPRESENTACIÓN FORMAL DE LA PROPUESTA	65
MARCO GENERAL DE LA PROPUESTA	68
MODELO DE FACTORES DE INFLUENCIA DE UN SGP	70
METODOLOGÍA PARA LA CREACIÓN DE UN SGP	73
APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA AL ENTORNO DE FABRICACIÓN	75
NORMALIZACIÓN DE LA MAQUINARIA INDUSTRIAL	80
FORMALIZACIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN	83

CAPÍTULO 4

NORMALIZACIÓN CONCEPTUAL DE LA MAQUINARIA INDUSTRIAL **85**

PROCESO DE NORMALIZACIÓN CONCEPTUAL DE LA MAQUINARIA INDUSTRIAL	86
PROCESO DE NORMALIZACIÓN CONCEPTUAL DE LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN DE LA MAQUINARIA INDUSTRIAL	88
PROCESO DE NORMALIZACIÓN CONCEPTUAL DE LA GESTIÓN DE LOS PROCESOS DE NEGOCIO DE LA MAQUINARIA INDUSTRIAL	99

CAPÍTULO 5	
<u>NORMALIZACIÓN TECNOLÓGICA DE LA MAQUINARIA INDUSTRIAL</u>	121
PROCESO DE NORMALIZACIÓN TECNOLÓGICA DE LA MAQUINARIA INDUSTRIAL	122
NORMALIZACIÓN DEL HARDWARE DE LA MAQUINARIA INDUSTRIAL	124
NORMALIZACIÓN DEL MIDDLEWARE DE LA MAQUINARIA INDUSTRIAL	129
PROCESO DE DEFINICIÓN DE SERVICIOS MIDDLEWARE SOA	131
PROCESO DE DEFINICIÓN DE SERVICIOS MIDDLEWARE WS-*	144
NORMALIZACIÓN DE LOS SERVICIOS DE LA MAQUINARIA INDUSTRIAL	160
DEFINICIÓN DE LOS SERVICIOS DE PRODUCCIÓN SOA	162
PROCESO DE DEFINICIÓN DE SERVICIOS WS-* DE PRODUCCIÓN	170
CAPÍTULO 6	
<u>PRUEBAS Y VALIDACIÓN</u>	183
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL ESCENARIO GENERAL	184
SISTEMA DE INFORMACIÓN	187
SISTEMA BPMS	189
SISTEMA DE FABRICACIÓN	192
PROTOTIPO IMAAS-XPORT	200
PROTOTIPO IMAAS-MOXA	225
PROTOTIPO IMAAS-EEEBOX	231
CASOS DE USO	237
CAPACIDAD DE INTEGRACIÓN DEL MODELO IMAAS	238
CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN DEL MODELO IMAAS	240
CAPACIDAD DE GESTIÓN ÁGIL DEL MODELO IMAAS	243

CAPÍTULO 7	
CONCLUSIONES	245
PRINCIPALES APORTACIONES	245
PROBLEMAS ABIERTOS	248
LÍNEAS FUTURAS	249
PUBLICACIONES Y REFERENCIAS	250
PUBLICACIONES MÁS RELEVANTES	250
OTRAS PUBLICACIONES DE RELEVANCIA RELACIONADAS CON LA INVESTIGACIÓN	253
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	257

Figuras

Figura 1-1	Porcentaje de relevancia del e-Business en el negocio según las empresas encuestadas en el estudio del Sectorial e-Business Watch	2
Figura 1-2	Principales factores que motivan la implantación de BPM recogida en el estudio realizado por el Club-BPM en el 2006.	4
Figura 1-3	Representación gráfica de la introducción de las TIC en los diferentes niveles de las organizaciones manufactureras.	7
Figura 1-4	Aplicación de la metodología propuesta al escenario actual de las organizaciones manufactureras.	15
Figura 2-1	Ciclo de vida del modelo BPM.	33
Figura 3-1	Principales tipos de recursos.	67
Figura 3-2	Diagrama genérico de procesos mediante notación de Eriksson-Penker.	68
Figura 3-3	Modelo de factores de influencia determinantes en la definición del SGP.	70
Figura 3-4	Proceso de especificación y diseño de un SGP estratégico	72
Figura 3-5	Metodología de especificación y diseño de un SGP	74
Figura 3-6	Instanciación de la metodología para la definición de un SGP aplicada al entorno manufacturero	76
Figura 3-7	Instancia del proceso de especificación y diseño de un SGP ágil en el sector manufacturero	79
Figura 3-8	Método de integración de los procesos de fabricación, proceso de normalización de la maquinaria industrial	81
Figura 3-9	Procesos de Normalización de la Maquinaria Industrial	82

Figura 3-10	Método general de la propuesta	84
Figura 4-1	Proceso de Normalización Conceptual de la Maquinaria Industrial.	88
Figura 4-2	Proceso de categorización de procesos de la maquinaria industrial	89
Figura 4-3	Representación mediante modelado UML de la definición y clasificación del concepto proceso de negocio.	92
Figura 4-4	Representación mediante modelado UML de los procesos de fabricación.	94
Figura 4-5	Modelado en UML del mapa de procesos de la maquinaria industrial.	96
Figura 4-6	Modelo del mapa de procesos de la maquinaria industrial.	97
Figura 4-7	Integración de los procesos de la maquinaria industrial en el mapa global de procesos de la organización.	99
Figura 4-8	Proceso de normalización conceptual de la gestión de procesos.	100
Figura 4-9	Funcionalidades del modelo BPM definidas por Smith y Fingar.	102
Figura 4-10	Diagrama de casos de uso del sistema de descubrimiento.	103
Figura 4-11	Diagrama de casos de uso del sistema de modelado.	105
Figura 4-12	Diagrama de casos de uso del sistema de despliegue.	105
Figura 4-13	Diagrama de casos de uso del sistema de ejecución.	106
Figura 4-14	Diagrama de casos de uso del sistema de control.	108
Figura 4-15	Diagrama de casos de uso del sistema de interacción.	109
Figura 4-16	Representación conceptual del Modelo BPM de la maquinaria industrial	109
Figura 4-17	Relación de los sistemas del modelo BPM y el mapa de procesos de la maquinaria industrial.	110
Figura 4-18	Relación entre los sistemas del modelo BPM y los actores externos.	110
Figura 4-19	Diagrama de casos de uso del sistema de control.	119
Figura 4-20	Relación de funcionalidades del modelo BPM de la maquinaria industrial y los requerimientos de gestión de los procesos de fabricación.	119
Figura 5-1	Proceso de Normalización Tecnológica de la Maquinaria Industrial.	123
Figura 5-2	Proceso de Normalización del Hardware de la maquinaria industrial.	125
Figura 5-3	Modelo conceptual de la Maquinaria Industrial Computacional.	128
Figura 5-4	Arquitectura resultante de la Maquinaria Industrial Computacional	129
Figura 5-5	Proceso de Normalización del Middleware de la Maquinaria Industrial	130

Figura 5-6	Subprocesos de Normalización del Middleware de la Maquinaria Industrial.	131
Figura 5-7	Proceso de Definición de Servicios Middleware SOA.	132
Figura 5-8	Proceso de Definición de Servicios Middleware SOA.	134
Figura 5-9	Realización de caso de uso Invocar Proceso o Actividad.	136
Figura 5-10	Realización de caso de uso Gestionar Interacción.	137
Figura 5-11	Realización de caso de uso Gestionar Ciclo de Vida.	138
Figura 5-12	Realización de caso de uso Gestionar Transacciones.	138
Figura 5-13	Realización de caso de uso Gestionar Sincronización.	139
Figura 5-14	Realización de caso de uso Gestionar Persistencia y Estado.	140
Figura 5-15	Realización de caso de uso Gestionar Seguridad.	140
Figura 5-16	Realización de caso de uso Gestionar Ejecución de Proceso.	141
Figura 5-17	Realización de caso de uso Gestionar Reglas de Negocio.	142
Figura 5-18	Realización de caso de uso Publicar Procesos y Subprocesos.	143
Figura 5-19	Realización de caso de uso Desplegar Procesos y Subprocesos.	143
Figura 5-20	Servicios de la capa de infraestructura.	144
Figura 5-21	Proceso de Normalización del Middleware.	145
Figura 5-22	Arquitectura del servicio de descubrimiento.	152
Figura 5-23	Modelado del documento WSDL que define el servicio Agente de Descubrimiento.	153
Figura 5-24	Diagrama de secuencia de la fase de publicación de procesos y actividades.	154
Figura 5-25	Modelado del servicio Gestor de Despliegue.	155
Figura 5-26	Modelado del documento WSDL que define el servicio Gestor de Despliegue	156
Figura 5-27	Modelado del Servicio Web Gestor de Reglas de Negocio.	157
Figura 5-28	Modelado del Servicio Web Gestor de Persistencia.	158
Figura 5-29	Modelado del Servicio Web Gestor de Tiempo.	159
Figura 5-30	Resultado de la normalización middleware.	160
Figura 5-31	Proceso de Normalización de Servicios.	161
Figura 5-32	Proceso de Normalización del Middleware.	162
Figura 5-33	Proceso de Normalización de Servicios de Producción.	163
Figura 5-34	Servicios de fabricación de la maquinaria industrial	167
Figura 5-35	Servicios de gestión de la maquinaria industrial.	169
Figura 5-36	Proceso de Definición de servicios de producción WS-*	171
Figura 5-37	Arquitectura IMaaS mínima que proporciona el proveedor de la	172

	maquinaria.	
Figura 5-38	Modelado UML del Servicio de Adquisición.	173
Figura 5-39	Modelado UML del Servicio de Ejecución.	174
Figura 5-40	Modelado UML de los Servicios de Entidad.	175
Figura 5-41	Modelado UML de los Servicio de Medida.	176
Figura 5-42	Diagrama de secuencia del Servicio de Medida.	176
Figura 5-43	Modelado UML del Servicio de Captación.	177
Figura 5-44	Diagrama de secuencia del Servicio de Captación.	178
Figura 5-45	Modelado UML del Servicio de Diagnóstico.	178
Figura 5-46	Modelado UML de los Servicios de Entidad.	179
Figura 5-47	Modelado UML del Servicio de Decisión.	180
Figura 5-48	Diagrama de secuencia del Servicio de Decisión.	180
Figura 5-49	Arquitectura IMaaS de la maquinaria industrial.	181
Figura 6-1	Escenario general de pruebas.	185
Figura 6-2	Servicios del sistema de información.	189
Figura 6-3	Diseño de la planta industrial 1.	194
Figura 6-4	Prototipo de la fábrica industrial marca STAUDINGER GMHB.	195
Figura 6-5	Diseño de la planta industrial 2.	196
Figura 6-6	Prototipo de la fábrica industrial marca STAUDINGER GMHB vista de perfil y planta superior.	198
Figura 6-7	Prototipo de la fábrica industrial marca STAUDINGER GMHB vista de perfil y planta superior.	199
Figura 6-8	Prototipo genérico IMaaS.	200
Figura 6-9	Prototipo genérico IMaaS-XPort	202
Figura 6-10	Interfaz de integración con la maquinaria industrial.	203
Figura 6-11	Elementos de integración del prototipo IMaaS-XPort.	203
Figura 6-12	Estructuras SOAP para almacenar los servicios y sus métodos.	205
Figura 6-13	Ejemplo de definición de la interfaz.	207
Figura 6-14	Ejemplo de implementación del servicio.	208
Figura 6-15	Ejemplo de registro del servicio.	208
Figura 6-16	Documento WSDL de un servicio generado dinámicamente.	209
Figura 6-17	Interfaz gráfica que muestra un listado de servicios.	209
Figura 6-18	Ejemplo mensaje AuthToken prototipo IMaaS-XPort.	211

Figura 6-19	Sintaxis de las hojas BPEL del prototipo.	213
Figura 6-20	Sintaxis de la actividad Invoke.	213
Figura 6-21	Sintaxis de la actividad repeatUntil.	214
Figura 6-22	Sintaxis de las actividades if, elseif y else.	214
Figura 6-23	Sintaxis de la actividad assign.	214
Figura 6-24	Ejemplo de actividad from utilizando un literal string como origen.	215
Figura 6-25	Ejemplo de actividad from utilizando un literal variable completa como origen.	215
Figura 6-26	Sintaxis de la actividad from para referenciar una variable completa.	215
Figura 6-27	Sintaxis de la actividad from cuando referenciamos un atributo como origen.	216
Figura 6-28	Sintaxis de la actividad to utilizando una variable completa como destino.	216
Figura 6-29	Sintaxis de la actividad to utilizando un atributo de una variable como destino.	216
Figura 6-30	BPEL de ejemplo.	217
Figura 6-31	Tablas de almacenamiento Motor BPEL.	218
Figura 6-32	Sintaxis de las hojas WSDL.	219
Figura 6-33	Invocación a servicios de despliegue de páginas BPEL.	220
Figura 6-34	Tablas utilizadas en el funcionamiento del servicio de la gestión de la maquinaria industrial.	223
Figura 6-35	Tablas utilizadas en el funcionamiento del servicio de la gestión de la maquinaria industrial.	224
Figura 6-36	Arquitectura prototipo IMaaS-XPort.	225
Figura 6-37	Relación arquitectura IMaaS con el prototipo IMaaS-MOXA.	227
Figura 6-38	Normalización Hardware prototipo IMaaS-MOXA.	228
Figura 6-39	Arquitectura del prototipo IMaaS-MOXA.	230
Figura 6-40	Relación arquitectura IMaaS con el prototipo IMaaS-MOXA.	231
Figura 6-41	Normalización Hardware prototipo IMaaS-EEEBBox.	232
Figura 6-42	Arquitectura del prototipo IMaaS-EEEBBox.	237
Figura 6-43	Diagrama de actividad del experimento para la validación de la capacidad de integración del modelo IMaaS.	239
Figura 6-44	Diagrama de actividad del experimento para la validación de la capacidad de adaptación del modelo IMaaS.	241
Figura 6-45	Diagrama de actividad del experimento para la validación de la capacidad de gestión ágil del modelo IMaaS.	244

Tablas

Tabla 3-1	Principales elementos de la notación Eriksson-Penker.	66
Tabla 4-1	Correlación entre procesos de fabricación y procesos de negocio.	95
Tabla 4-2	Relación de funcionalidades del modelo BPM de la maquinaria industrial y los requerimientos de los nuevos modelos de producción.	115
Tabla 4-3	Relación de funcionalidades del modelo BPM de la maquinaria industrial y los requerimientos de la gestión de calidad de los procesos de fabricación.	117
Tabla 5-1	Extensiones WS-* asociadas a los servicios middleware.	146
Tabla 5-2	Extensiones WS-* seleccionadas para la arquitectura IMaaS	147
Tabla 6-1	Servicios del sistema de información.	188
Tabla 6-2	Resumen características del dispositivo XPort.	201
Tabla 6-3	Características dispositivo MOXA.	226

Capítulo 1

Introducción

El uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) e Internet está teniendo una enorme repercusión en cómo se relacionan las organizaciones con su entorno y cómo realizan las transacciones de negocio. De hecho, se considera que el uso de las TIC en general, e Internet en particular, para llevar a cabo los procesos de negocio de una organización o, lo que es lo mismo, el modelo e-Business, se ha convertido en el factor más determinante en el mundo empresarial desde la revolución industrial (Burlton, 2001), dando lugar a lo que se ha denominado *la nueva economía* (SeBW, 2008a). Según el estudio realizado por *Sectorial e-Business Watch* (SeBW, 2008b) a más de 5.500 empresas de diferentes sectores, la adopción de los modelos de negocio electrónico como estrategia empresarial se ha incrementado de forma sustancial en los últimos años. El modelo e-Business implica una nueva forma de hacer negocios que afecta tanto a la estructura como al comportamiento de las organizaciones. De hecho, entre el 55% y el 70% de las empresas de todos los sectores entrevistados consideran que las TIC tienen una incidencia media o alta en sus negocios (figura 1-1) y destaca, como motivos fundamentales de su implantación: la mejora del posicionamiento en el mercado con respecto a la competencia, la mejora de la relación con clientes y proveedores, o la automatización de los procesos internos (SeBW, 2008a).

2 Metodología para la Gestión Integral de los Procesos de Producción

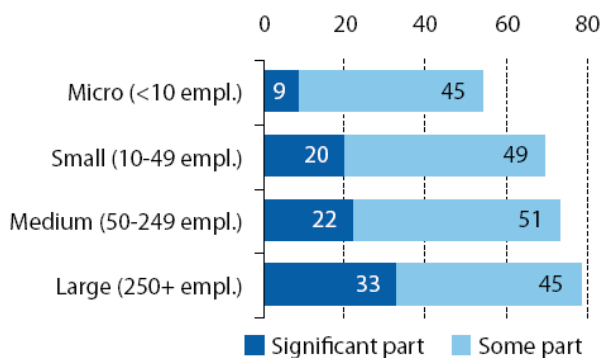


Figura 1-1. Porcentaje de relevancia del e-Business en el negocio según las empresas encuestadas en el estudio del Sectorial e-Business Watch.

La implantación del modelo e-Business en las organizaciones facilita la eliminación de las barreras geográficas, lo que permite a las organizaciones actuar en mercados en los que antes su acceso era impensable, debido al elevado coste de las infraestructuras físicas y logísticas o por las diferencias económicas y legales entre los países. Las transacciones comerciales se pueden realizar desde cualquier sitio y a cualquier hora, lo que implica total disponibilidad del funcionamiento de la organización (Harmon, 2003) (Burlton, 2001).

Los consumidores tienen acceso a un mayor número de ofertas de productos y servicios, más variadas y prácticamente personalizados, que hace que el cliente final posea un mayor poder de decisión para elegir los bienes de consumo que más se adapten a sus necesidades. Por este motivo, se convierten en un factor determinante al definir los objetivos estratégicos de las organizaciones.

La relación entre las organizaciones con sus socios o sus proveedores se realiza de forma más eficiente. La cadena de valor de una organización se puede integrar con las de sus socios o proveedores de tal manera que se transforme en una. Esta circunstancia posibilita la automatización del proceso de abastecimiento, de compra y de intercambio de información, mejorando la colaboración y reduciendo los costes temporales y

económicos asociados. Además, de la misma forma que los consumidores pueden acceder a una mayor variedad de ofertas, las organizaciones pueden establecer relaciones con diferentes proveedores eligiendo en cada momento la opción que más les convenga.

La automatización de los procesos internos de la organización y la integración de los diferentes sistemas de gestión de la compañía permiten una gestión más eficiente de la organización presentando los diferentes sistemas de gestión como un sistema integral único que comparte los sistemas de información y permite un intercambio de los datos de forma eficiente, sencilla y rápida.

Todos estos factores, en mayor o menor medida, están arrastrando el mercado hacia un sistema de competencia extrema y más agresiva entre las organizaciones que hacen que los ciclos de negocio sean extremadamente cortos. Esto ha supuesto la aparición de nuevos modelos de negocio fundamentados en el cambio continuo del entorno, que repercute en la modificación de los objetivos estratégicos de la organización en periodos de tiempo muy cortos y, por tanto, se caracterizan por el incremento de la complejidad en la forma de gestionarlos. Estos nuevos enfoques de paradigmas de negocio exigen a las organizaciones modelos de gestión ágiles, dinámicos y flexibles que permitan alinear de manera casi inmediata los cambios que se han producido en los objetivos estratégicos con los procesos de negocio y la tecnología que sustenta dichos procesos (Smith & Fingar, 2002)(Chang, 2005).

Las teorías modernas de gestión de procesos de negocio tratan de resolver la problemática surgida para la gestión de los nuevos modelos de negocio contemplando las TI como una herramienta indispensable (Smith & Fingar, 2002). En concreto, una de estas teorías es la denominada Business Process Management (BPM) que ha surgido como respuesta a las exigencias de la gestión de los nuevos modelos de negocio. BPM contempla el cambio como una de sus principales características y la adecuación ágil a dichos cambios por parte de los procesos de negocio y las

infraestructuras TI que los sustentan. De esta forma, BPM facilita un rápido alineamiento entre los objetivos estratégicos del negocio y los operacionales. Por este motivo, BPM se ha convertido en el enfoque más adecuado para afrontar los requisitos de los nuevos modelos de negocio (Jeston & Neils, 2006) (Smith & Fingar, 2002). Asociado a dicha teoría ha surgido un nuevo concepto de plataforma software denominada BPMS (*Business Process Management System*) que da soporte tecnológico al ciclo de vida definido en BPM, ofreciendo a la organización soluciones centradas en la gestión de procesos capaz de integrar personas, sistemas e información.

El estudio realizado por la organización Club-BPM en el 2006 (Robledo & De Laurentiis, 2006) presenta los principales beneficios obtenidos de la implantación y uso de soluciones BPM en las organizaciones entre los que se encuentra, principalmente, el aumento de la productividad, aunque como se observa en la figura 1-2 existen otros aspectos de gran relevancia a la hora de optar por la implantación del modelo BPM.

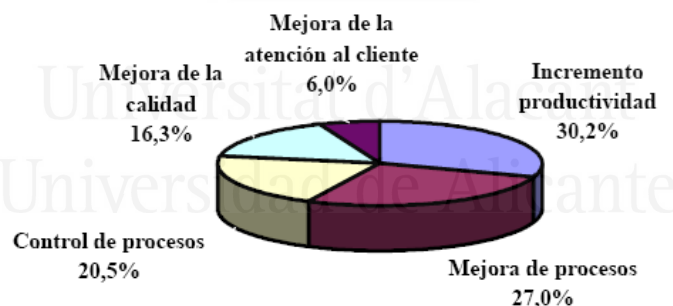


Figura 1-2. Principales factores que motivan la implantación de BPM recogida en el estudio realizado por el Club-BPM en el 2006.

Uno de los sectores donde más impacto han tenido los cambios derivados de la introducción de las TIC en los negocios y el modelo e-Business ha sido el de la manufacturación. Sobre todo las reglas y modelos de negocio de este tipo de organizaciones se ha visto afectada por los cambios impulsados por los consumidores que han provocado una evolución en los

paradigmas de producción, y como consecuencia, la complejidad para gestionar dichos modelos se ha incrementado de forma exponencial.

En este sentido, las organizaciones manufactureras están evolucionando desde los tradicionales paradigmas de producción orientados a la producción masiva, hacia modelos que faciliten la personalización masiva (Younghwan *et al.*, 2005) (Jeston & Neils, 2006). En los nuevos modelos de negocio, el cliente ya no es considerado una mera entidad externa a los procesos de negocio de la organización, sino que forma parte del mismo como un elemento activo, determinando las características específicas que debe poseer el producto deseado.

Un buen ejemplo de organizaciones que han implantado estos nuevos modelos de producción pueden ser observados en: Dell Computers en el sector de la informática, donde Michael Dell ha sido proclamado el Henry Ford de la personalización masiva; Levi Strauss & Company's (Burlton, 2001), Adidas o Nike Retail en el sector textil; Nokia Corporation o Motorola del sector de la telefonía móvil (Di Pierri, 2006). Todas estas marcas ofrecen productos personalizados, contemplando una gama de productos acotada para cada cliente, permitiéndoles diseñar y modificar las características de sus productos por un pequeño aumento en el coste.

Es importante destacar el impacto que la personalización masiva está teniendo en la industria automovilística, uno de los sectores referentes en la implantación de modelos de producción. Casos como el de Mercedes Benz cuya planta de Sindelfingen está preparada para soportar la producción por lotes y la producción de vehículos personalizados. Otro caso es el de la compañía Harley Davidson que ofrece en sus tiendas paneles interactivos que permiten al cliente configurar las opciones del producto. O el caso de General Motors, que ha sido considerado el pionero del sector de la industria automovilística en la implantación de la personalización masiva. También BMW es considerado uno de los fabricantes destacados en la implantación de la personalización masiva (Regani, 2005).

Dentro de este sector existen proyectos de investigación financiados por la comisión europea que agrupan diferentes fabricantes de la industria del automóvil (Volvo, Fiat, etc.) con el objetivo de diseñar herramientas TIC y métodos orientados a la implantación del modelo de personalización masiva así como nuevos enfoques para el diseño de automóviles bajo dicho paradigma (CATER, 2006).

Casos como los presentados demuestran el interés y la necesidad de crear modelos de gestión ágil en todos los niveles de la organización, desde la solicitud del pedido hasta su entrega. Sin embargo, la estructura rígida característica de este tipo de organizaciones hace que la complejidad a la hora de gestionar dichas organizaciones sea mucho más elevada. Actualmente, en las organizaciones manufactureras la viabilidad de los nuevos modelos de negocio se hace compleja puesto que sería necesario alcanzar una plena integración de los procesos de fabricación dentro del mapa global de la organización, dicha integración, se ve dificultada por las restricciones físicas, tecnológicas y conceptuales en los niveles inferiores (PLC, CNC, maquinaria industrial, etc.), así como por la falta de estandarización en los elementos de producción en dichos niveles. Es en este ámbito en el que todavía quedan muchos problemas por resolver pues, si bien las nuevas tecnologías pueden ayudar notablemente a subsanarlos, las infraestructuras empleadas en los niveles inferiores de fabricación son demasiado rígidas y no están preparadas para aprovechar toda la capacidad que éstas pueden ofrecer (Worthington & Boyes, 2002) (SeBW, 2008b) (figura 1-3).

Si en los sectores de servicio el paradigma BPM se presentaba como el modelo de gestión de los procesos de negocio adecuado a los requisitos de los nuevos modelos de negocio, la brecha tecnológica y conceptual existente entre los niveles de gestión empresarial y los niveles inferiores en las organizaciones manufactureras impide que se pueda sacar todas las ventajas de los sistemas BPMS para lograr una gestión ágil. De hecho, las organizaciones manufactureras pueden implantar este tipo de sistemas en los niveles superiores de gestión pero los niveles de

producción siguen estando caracterizados por los modelos organizativos clásicos de la automatización industrial como el modelo PERA (Williams, 1998) o el ISA95 (Johnson, 2004) que se muestran como estructuras rígidas y cuya implantación supone altos costes temporales y económicos.

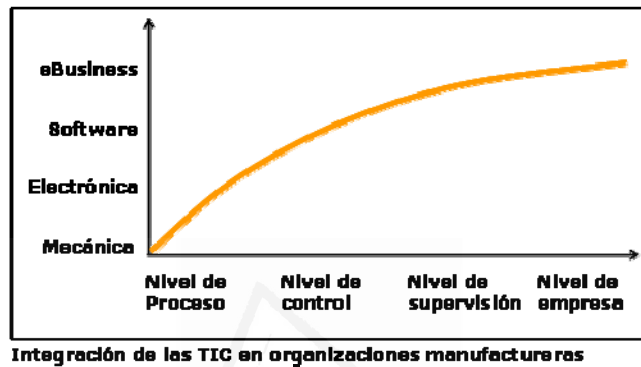


Figura 1-3. Representación gráfica de la introducción de las TIC en los diferentes niveles de las organizaciones manufactureras.

En la actualidad, los enfoques propuestos por las organizaciones que implantan modelos de personalización masiva o de producción ágil consisten en el desarrollo de soluciones propietarias para integrar los sistemas de gestión de los niveles superiores con los sistemas industriales típicos de los niveles de producción con el objetivo de obtener un sistema de gestión integral. Estas soluciones requieren elevadas inyecciones de capital al alcance sólo de grandes organizaciones y con el coste temporal que conlleva un proyecto de automatización industrial de tal envergadura y la posterior recuperación de la inversión sin un aumento del precio del producto. No obstante, se trata de proyectos ad-hoc válidos para la organización en concreto que lo implanta. Ante cambios bruscos en el mercado que impliquen variaciones en el modelo de negocio o en los objetivos estratégicos, estas soluciones no son flexibles y su adaptación supone nuevas y elevadas inversiones económicas y temporales.

Otras de las propuestas que se está abordando en la actualidad para solventar el problema de la gestión ágil de las organizaciones manufactureras que contempla los nuevos paradigmas de producción es la introducción de las TIC en los niveles inferiores de fabricación. Dentro de este enfoque existen diversas propuestas centradas, principalmente, en la eliminación de las restricciones tecnológicas de los niveles inferiores de producción mediante la introducción de paradigmas TIC para facilitar la integración con los niveles de gestión. Generalmente se trata de proyectos de innovación tecnológica desarrollados dentro de los diferentes programas marcos de la Unión Europea y que requieren grandes inyecciones de capital.

En este sentido, Schneider ha sido uno de los primeros fabricantes de dispositivos de automatización y control industrial que han propuesto la introducción de dispositivos embebidos y paradigmas de Internet (ethernet, TCP/IP o servidor Web) en sus dispositivos de automatización (PLCs) para establecer la comunicación con las aplicaciones de gestión. Esta tendencia se puede ver reflejada en conceptos como el *transparent factory* (Transparent Factory, 2001). En (Topp & Müller, 2002) varios investigadores de la empresa ABB proponen la introducción de sistemas embebidos en los dispositivos de control sobre los que se sustentan protocolos ampliamente extendidos en Internet (como SOAP —*Simple Object Access Protocol*) (SOAP, 2007) para establecer la comunicación con los niveles superiores. En este trabajo se dota al dispositivo de control de inteligencia y autogestión no sólo estableciendo una interfaz de acceso a sus funcionalidades sino también dotándole de capacidades proactivas que le permitan establecer por sí mismo y ante diversos sucesos la comunicación con los sistemas de gestión. En (Kalogeris *et al.*, 2006) se propone el uso de Web Service como medio para acceder a las funcionalidades de los dispositivos de automatización y control para facilitar la integración con los sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP —*Enterprise Resource Planning*). Estas tres propuestas se centran en los elementos de los niveles de automatización y control,

manteniendo las tecnologías actuales para conectar con la maquinaria industrial.

También en el marco de proyectos europeos de investigación, concretamente dentro del programa ITEA, se encuentran importantes iniciativas (SIRENA, 2003) (SODA, 2006) que avalan el interés de esta línea, con importantes resultados que avanzan hacia SOA y dispositivos embebidos en la maquinaria industrial como tecnologías válidas para la integración con los niveles de gestión (Jammes & Smit, 2005) (Jammes *et al.*, 2005). Uno de los pocos enfoques centrados en la gestión integral de este tipo de organizaciones se puede ver en el proyecto SOCRADES (SOCRADES, 2006) que establece un sistema centralizado que gestione la maquinaria industrial a partir del proyecto SIRENA (SIRENA, 2003).

Por otro lado, es necesario tener en cuenta que los cambios en los futuros métodos de fabricación tienden a paradigmas distribuidos, con acoplamiento débil y autónomo, e implican un incremento de la complejidad y la necesidad de responder al continuo cambio bajo una paulatina disminución de los costes. Estas características se pueden ver en la mayoría de las propuestas emergentes de automatización y control industrial (*Bionic Manufacturing Systems, Reconfigurable Manufacturing Systems, Holonic Manufacturing Systems, Balanced Automation Systems, Evolvable Production Systems*) que abogan por el uso de sistemas inteligentes distribuidos frente a los centralizados (Brennan *et al.*, 2002) (Giret *et al.*, 2005). Para afrontar estos cambios se requiere funcionalidades adicionales como: robustez, escalabilidad o reconfiguración, mientras se mantienen procesos simples y transparentes (Lee *et al.*, 2004) (McFarlane & Bussmann, 2000). Además, existe la tendencia actual a trasladar parte de la lógica de control, supervisión y gestión a la maquinaria industrial, dotándola de mayor inteligencia y autonomía (Lee *et al.*, 2004) (McFarlane & Bussmann, 2000).

En este sentido, se puede observar que hay un enorme interés por parte de las instituciones científicas y del sector empresarial en la investigación en este campo. Como prueba de ello se puede

resaltar que tanto en el 6º como en el 7º Programa Marco de la Unión Europea, una de las principales líneas de investigación financiadas ha sido y es la introducción de infraestructuras y plataformas en los elementos de producción ubicados en los niveles inferiores de las organizaciones manufactureras que permitan sustentar los paradigmas TIC y aprovechar las ventajas que éstas brindan para eliminar las restricciones existentes entre dichos elementos y los niveles superiores de las organizaciones (6PM, 2002) (7PM, 2007). Además, se han celebrado diversos *workshops* que han reunido a expertos de la comunidad científica y empresarial relacionados con el campo de investigación para definir y especificar esta línea de acción (CORDIS, 2008).

Por otro lado, centrándose en esta línea de investigación, algunas de las principales organizaciones del ámbito de la automatización industrial, automoción y desarrollo de soluciones software de gestión empresarial junto con diversas universidades e institutos de investigación europeos han formado el consorcio ITEA con el fin de obtener ayudas de la unión europea y de sus respectivos países de procedencia en ayudas de ámbito nacional de I+D+i que permita llevar a cabo estas propuestas que, debido a su elevado coste y estado actual de proyectos de investigación, no serían viables en un entorno competitivo plenamente desarrollado. De esta forma se han venido desarrollando proyectos como SIRENA (SIRENA, 2003) o SODA (SODA, 2006).

Identificación del Problema

Se puede deducir de la revisión realizada hasta el momento que existe una carencia en la definición de modelos genéricos e integrales para la gestión ágil del negocio en las organizaciones manufactureras en consonancia con los requerimientos de los nuevos modelos de negocio y producción que pone de manifiesto la existencia de un problema abierto.

El problema que se aborda en la presente tesis posee un carácter transversal y comprende un amplio abanico de ámbitos de

investigación pero con una relación muy estrecha entre sí como se muestra a continuación y de mayor a menor grado de abstracción.

- Negocio electrónico (e-Business). A nivel general el problema se ubica en el ámbito del uso de las TIC como herramienta de soporte y gestión del negocio de la organización, es decir, sustentar y automatizar mediante las TIC los procesos de negocio, tanto internos como externos, de las organizaciones conforme a los objetivos estratégicos definidos.
- Agilidad de negocio (*Business Agility*). En este sentido, el análisis del problema en un nivel más concreto se centra en la necesidad de hacer viable los requerimientos de los nuevos modelos de negocio, marcados por su dinamismo y por la necesidad de adaptar de forma rápida y eficiente los procesos de negocio de la organización con respecto a los cambios producidos en el entorno. De esta forma, se busca automatizar la alineación entre los nuevos objetivos estratégicos y los operacionales en el menor tiempo posible y con el menor impacto. Este enfoque añade una mayor riqueza al ámbito del e-Business porque no sólo pretende dar soporte mediante las TIC para llevar a cabo los procesos de negocio sino que además permita, de forma ágil, adaptar los procesos ante cambios inesperados del entorno.
- Fabricación ágil (*Agil Manufacturing*). Podríamos tomar este ámbito del problema como un subconjunto del anterior, puesto que en el presente trabajo de investigación nos centramos en sistemas de gestión ágil dentro de las organizaciones manufactureras. De hecho, la fabricación ágil se centra en la facilidad de adaptar los procesos de producción de forma rápida y eficiente ante los cambios del entorno, en este caso, partiendo de las peculiaridades de los entornos de producción manufactureros, se tendrán en cuenta los sistemas y

modelos de gestión que más repercusión están teniendo en el ámbito del *Business Agility*.

Sin embargo, podemos describir el ámbito más específico en el que se ubica la investigación como la integración de los procesos de fabricación de la maquinaria industrial y los procesos de negocio para lograr nuevos sistemas de gestión de procesos ágiles sustentados en las TIC conforme a los nuevos requerimientos de los modelos de negocio y producción.

Teniendo en cuenta el ámbito de la investigación, se define el problema que se va a abordar en la presente tesis como:

Las restricciones físicas, tecnológicas y conceptuales existentes entre los elementos de producción y los sistemas de gestión ubicados en los niveles empresariales de las organizaciones provocan una ruptura en la continuidad del negocio de la organización. De esta forma, la gestión integral de los nuevos modelos de negocio y producción no es sostenible en un entorno competitivo, puesto que es necesaria la inversión de grandes cantidades de capital para crear modelos ad-hoc, repercutiendo dicha inversión directamente en el precio de los productos.

Hipótesis y Objetivos

Partiendo de la definición del problema y del análisis realizado en el estado del arte y los antecedentes se ha planteado la *hipótesis de partida* de la presente tesis:

Si se consigue mostrar la maquinaria industrial desde su punto de vista funcional, ofreciéndola como parte de un sistema BPMS, entonces se podrán eliminar las brechas conceptuales y tecnológicas existentes entre los niveles de gestión y de producción y, de esta forma, se conseguirá sistemas integrales de gestión ágil e-Business que hagan viable los requerimientos de los nuevos modelos de negocio en las organizaciones manufactureras.

Teniendo en cuenta la hipótesis de partida se ha planteado como *objetivo general*:

La creación de un modelo arquitectónico que muestre la maquinaria industrial como un sistema de gestión de procesos de negocio expuesto como servicio (*Industrial Machine as a Service*), logrando la integración transparente de los procesos de fabricación en los actuales modelos de gestión ágil de negocio basados en las TI para abordar los requerimientos de los nuevos modelos de negocio y producción de forma integral.

Además, se han establecido los siguientes objetivos específicos con el fin de guiar la metodología utilizada y el plan de trabajo:

- Realizar un estudio del estado del arte en los ámbitos relacionados con el problema para localizar las deficiencias de las propuestas existentes y estudiar los modelos que permitan resolver dichas carencias y cumplir los requerimientos introducidos en la hipótesis planteada.
- Crear una metodología para formalizar y sistematizar el proceso de integración de los procesos de fabricación dentro del modelo de negocio electrónico que elimine las restricciones conceptuales y tecnológicas mencionadas, fundamentado en los principios del BPM y que transforme la maquinaria industrial como parte de un sistema BPMS expuesto como servicio.
- Diseñar e implementar un escenario de pruebas para validar la propuesta de forma general formado por un conjunto de prototipos de máquinas industriales basadas en el enfoque IMaaS, un prototipo de sistema BPMS y las infraestructuras SOA auxiliares que permitan obtener un modelo de gestión ágil integral para validar la propuesta.

Propuesta de Solución

Tradicionalmente, la integración los procesos de negocio ubicados en el nivel de empresa y los procesos de fabricación llevados a cabo por la maquinaria industrial se ha venido realizando a través de soluciones propietarias o ad-hoc siguiendo una estructura rígida que dificulta la adaptación de los procesos de la organización ante cambios del entorno de forma ágil (figura 1-4a).

Existen propuestas que modelan conceptualmente los procesos de fabricación de la maquinaria industrial integrándolos de forma natural en el mapa de procesos de la organización. Sin embargo, estas propuestas no contemplan cómo se debe eliminar las restricciones físicas y tecnológicas que impiden la gestión integral de los mismos conforme a los requerimientos de los nuevos modelos de negocio y producción, impidiendo la adaptación de los procesos de forma automática y ágil ante cambios producido en los objetivos estratégicos de la organización.

Otras propuestas se centran en, precisamente, eliminar las restricciones físicas y tecnológicas, sin embargo no definen como conceptualizar formalmente los procesos de fabricación de la maquinaria industrial como procesos de negocio, independientemente de la tecnología utilizada, para que obtengan un verdadero beneficio de la nueva situación.

La propuesta de solución presentada en el trabajo de investigación define una metodología que introduce, por un lado, cambios conceptuales en la maquinaria industrial obteniendo como resultado un modelo que muestra esta maquinaria como un conjunto de procesos de negocio y su gestión y, por otro lado, introduce en la maquinaria industrial cambios físicos y tecnológicos que posibilitan la integración transparente de la maquinaria con el resto de procesos de negocio sustentados por los sistemas e-Business del nivel de empresa. De esta forma, se posibilita la implantación de los nuevos modelos de negocio en las organizaciones manufactureras de una forma trivial (figura 1-4b).

A partir de esta propuesta se pueden lograr modelos genéricos de gestión ágil que contemplen los procesos de fabricación de forma integral consiguiendo continuidad en el negocio y modelos que permitan la alineación inmediata entre los objetivos estratégicos y los operacionales (sustentados por las TI). Además, como beneficio de la aplicación de la propuesta se pretende abstraer al responsable de procesos de la organización de las características tecnológicas asociadas a los elementos de producción y, de esta forma, centrarse en la mejora en la gestión del negocio.

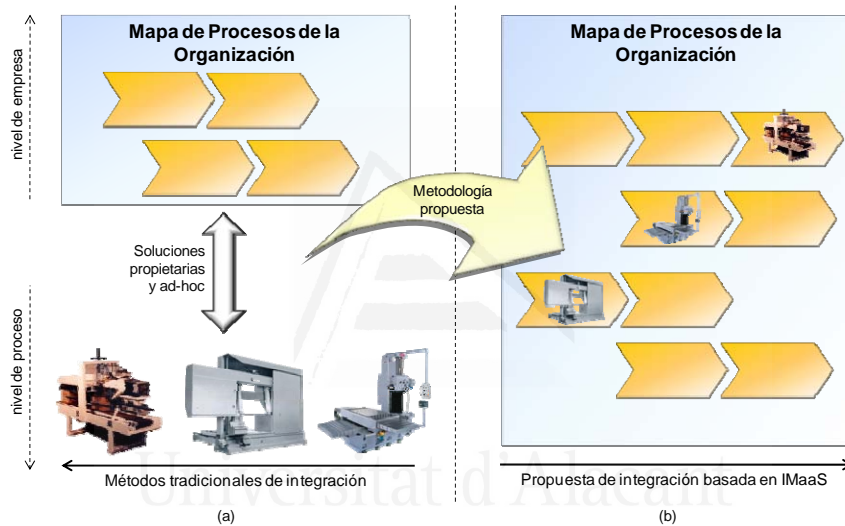


Figura 1-4. Aplicación de la metodología propuesta al escenario actual de las organizaciones manufactureras.

Por otro lado, otra de las aportaciones importantes es que las metodologías definidas en la propuesta son flexibles y pueden generalizarse para, de forma sistemática, obtener modelos de gestión generales e integrales conforme a los requerimientos de los modelos de negocio vigentes en cada momento.

Metodología

La metodología del trabajo se ha planteado en función de los objetivos generales y concretos descritos en el apartado anterior

siguiendo diferentes aspectos del método científico. A continuación se detalla los métodos y técnicas que se han utilizado en el proceso de investigación científica del presente trabajo para abordar cada uno de los objetivos.

A partir de la hipótesis expuesta, a la cual se ha llegado mediante la observación y el análisis de los diferentes ámbitos en los que se ubica el problema, se ha realizado un proceso de deducción para obtener las consecuencias de la hipótesis planteada y los enunciados que se deberán demostrar posteriormente mediante los pertinentes procesos de experimentación para comprobar la validez de la propuesta. Para ello, en función del objetivo global se ha utilizado como marco general a lo largo del presente trabajo el método hipotético-deductivo.

Posteriormente, en cada una de las etapas en las que se ha dividido el trabajo de investigación y que han sido definidas a partir de los objetivos específicos, ha sido necesario el uso de diferentes métodos científicos complementarios.

Primeramente se ha realizado un estudio del estado del arte mediante la observación y el análisis de los diferentes ámbitos de investigación en los que se ha ubicado el problema y que fueron descritos anteriormente. En concreto, el estudio se ha centrado en el análisis de los sistemas de gestión ágil basados en procesos de negocio, paradigmas y modelos TI adecuados para los requerimientos de los nuevos modelos de negocio, modelos y propuestas de integración vertical en la industria manufacturera y los requerimientos de los modelos de producción emergentes. En esta etapa se ha utilizado el método de observación científica que ha permitido concretar en cada uno de los ámbitos del problema las líneas específicas objeto de estudio y el método analítico que han permitido analizar cada una de las propuestas y enfoques de estas líneas y obtener las carencias y las aportaciones para la resolución del problema

A partir de las diferentes propuestas planteadas y conclusiones del análisis anterior, se han unido diversas propuestas y enfoques para definir una metodología que sistematice y permita

expresar formalmente el proceso de normalización conceptual de la maquinaria industrial, que permite obtener como resultado el modelo de la maquinaria industrial como servicios. Este proceso se ha realizado mediante el método sintético.

El modelo de servicios de la maquinaria industrial resultante de la metodología propuesta se fundamenta en la aplicación del método sistémico, determinado a partir de los componentes del modelo y sus relaciones.

El proceso de normalización tecnológica ha sido definido a partir del análisis realizado en el estado del arte de las diferentes tecnologías y paradigmas TI que permitan sustentar el modelo obtenido en el proceso de normalización conceptual de la maquinaria industrial. Para llevar a cabo dicho tarea se ha utilizado el método sintético.

Después de formular el modelo conceptual se ha obtenido la arquitectura IMaaS para hacer viable la propuesta en entornos realistas con las tecnologías existentes. Para ello, se ha utilizado el *método sistémico* que permite modelar un sistema mediante la determinación de su estructura, componentes y las relaciones entre ellos.

Finalmente, con el objetivo de validar las hipótesis mediante la experimentación, se han diseñado los escenarios de pruebas y se han utilizado métodos empíricos sobre dichos escenarios para validar los casos de uso propuestos en los objetivos. Para ello se han determinado las propiedades para cada escenario cuya medida permitirán comprobar la validez de la propuesta como los tiempos de reconfiguración del escenario, tiempos de cambio en los procesos de la organización, etc. El método de medición es el adecuado para llevar a cabo esta etapa.

Plan de trabajo

Para una mejor comprensión de los aspectos fundamentales tratados en la presente tesis, hemos estructurado la memoria en

distintos capítulos especificando las tareas que se llevan a cabo en cada uno de ellos. Dichas tareas han sido definidas conforme a los objetivos definidos anteriormente.

En el capítulo 2 se aborda el estudio de los antecedentes y el estado del arte de los diferentes ámbitos en los que se ubica el problema. En concreto, se centra en el estudio y análisis de las propuestas de categorización de los procesos de negocio y de los paradigmas modernos de gestión de procesos de negocio fundamentados en los requerimientos de los nuevos modelos de negocio, en el estudio y análisis de los paradigmas y arquitecturas TIC emergentes que permitan llevar a cabo los requerimientos de los nuevos modelos de negocio, en las propuestas de sistemas TI de gestión de procesos de negocio, en el estudio y análisis de las propuestas de integración vertical de los procesos de fabricación con los sistemas de gestión empresarial TI y, por último, se estudian y analizan los requerimientos de los modelos de producción y los enfoques de sistemas TI relacionados.

En el capítulo 3 se describe el marco formal en el que se desarrolla la tesis definiendo el método general que permita lograr sistemas de gestión acorde a los requerimientos de los modelos de negocio en un momento dado, posteriormente se presenta la instancia del método para el problema que se va a abordar en el presente trabajo y se concreta la parte específica del problema que se pretende resolver en la tesis.

En el capítulo 4 se aborda el *proceso de normalización conceptual de la maquinaria industrial* que permite eliminar las restricciones conceptuales de los procesos de fabricación que tienen lugar en la maquinaria industrial. En primer lugar, se identifican y describen los elementos de entrada, los elementos participantes, los objetivos y el elemento resultante de la aplicación del método. Posteriormente se describen los subprocesos que componen el proceso de normalización conceptual de la maquinaria industrial y la dinámica y funcionamiento de cada uno. Por último, se describe como resultado de la aplicación de la metodología el

modelo obtenido que permite visualizar la maquinaria industrial como un sistema de gestión de procesos expuesto como servicios.

En el capítulo 5 se describe el *proceso de normalización tecnológica de la maquinaria industrial* que permite eliminar las restricciones físicas y tecnológicas existentes. Al igual que en el caso anterior, se presentan los elementos que participan en el proceso, las subetapas en las que se divide y el funcionamiento y objetivos de cada una de ellas. Finalmente, como resultado del proceso de normalización tecnológica de la maquinaria industrial se expone la arquitectura IMaaS que permitirá validar la propuesta del modelo como resultado de la aplicación de la metodología descrita en el capítulo 4.

En el capítulo 6 se lleva a cabo la validación de la propuesta del modelo IMaaS mediante la evaluación de la implementación de un prototipo, sobre distintos escenarios. En el capítulo se describe detalladamente los escenarios utilizados y sus componentes.

- Implementación de la arquitectura IMaaS de la maquinaria industrial que compone el escenario.
- Implementación del prototipo BPMS que integra la propuesta.
- Instalación de las infraestructuras auxiliares que componen el escenario.

Posteriormente se detallan la implementación de los casos de uso propuestos y las pruebas realizadas y, principalmente, los resultados empíricos obtenidos.

Finalmente, dedicamos el capítulo 7 a exponer las principales conclusiones y aportaciones del trabajo y se plantean las líneas futuras de investigación que se desprenden del mismo.

Capítulo 2

Antecedentes y Estado del Arte

En el capítulo anterior se estableció como objetivo del trabajo de investigación la propuesta de una metodología que permitiese la integración de los procesos de fabricación con los de negocio de forma transparente eliminando para ello las restricciones conceptuales y tecnológicas existentes entre los elementos de producción y los del nivel de empresa y, posibilitando de esta forma, su gestión conforme a los requerimientos de los nuevos modelos de negocio y producción.

En este sentido, en el presente capítulo se han recogido, de forma sintetizada, aquellos antecedentes y trabajos de los ámbitos de estudio en el que se enmarca el presente trabajo de investigación que han podido servir, por un lado, para identificar el problema y plantear la hipótesis de partida y, por otro lado, para justificar el enfoque de la propuesta que aborda el problema.

Para ello se ha dividido en capítulo en las siguientes secciones de estudio:

- Teorías de procesos de negocio.
- Teorías modernas de gestión de procesos de negocio.
- Paradigma de arquitectura orientada a servicios.

- Especificaciones y tecnologías de servicios Web.
- Propuestas de integración de los elementos de producción con los niveles superiores de la organización.
- Requerimientos de los modelos de producción y propuestas de nuevos modelos de producción.

Teorías de Procesos de Negocio

El modelo e-Business se centra en el uso de las tecnologías de la información para sustentar los procesos de negocio de la organización y su gestión.

Para poder integrar los procesos de fabricación dentro de los sistemas e-Business de la organización, uno de los objetivos de la propuesta consiste en la eliminación de las restricciones conceptuales existentes entre ambos procesos trasladando los procesos de fabricación al dominio del negocio. Por esta razón, es necesario conocer los antecedentes y fundamentos de las teorías de los procesos de negocio para establecer una correlación con los procesos de fabricación e intentar acercar los conceptos, de forma que puedan ser gestionados con los mismos métodos y técnicas del modelo e-Business.

En este sentido, uno de los primeros en describir procesos fue Adam Smith a través del principio de división del trabajo propuesto en *La riqueza de las naciones* (Smith, 1776). Smith ilustraba el concepto poniendo como ejemplo una fábrica de alfileres donde el trabajo era dividido en pequeñas tareas que eran realizadas por trabajadores especializados en cada una de ellas e indicaba que la especialización de los trabajadores respecto a las actividades realizadas ofrecía un elevado aumento en la productividad. Aunque no definió el concepto de proceso de negocio como tal, la mayoría de los trabajos en el ámbito se ha basado en su propuesta.

«Un hombre extrae el alambre, otro lo moldea en línea recta, un tercero lo corta, un cuarto afila la punta, un quinto prepara

la parte superior para colocar la cabeza del alfiler. Fabricar la cabeza conlleva dos o tres tareas distintas: una consiste en poner la cabeza, la otra en blanquearla...De esta forma el proceso de fabricación queda dividido en 18 tareas aproximadamente...»

El concepto de Smith fue utilizado por Henry Ford y Frederick Taylor desde dos puntos de vista diferentes.

Taylor en 1911 lanzó su libro *principios de la gestión científica*. En él Taylor capturó algunas de las ideas claves que los grandes gerentes debían usar para mejorar los procesos. Propuso identificar por diferentes métodos la mejor forma de realizar una tarea y medir la salida para poder mejorarla. Las propuestas de Taylor son referenciadas en la mayoría de las propuestas del principio de la reingeniería de procesos de negocio (Espinosa, 2003).

Siguiendo la propuesta de Smith de la división del trabajo en actividades, Ford, en 1903, comenzó a diseñar la cadena de producción aplicada al sector de la automoción y que fue puesta en marcha en 1911 (Espinosa, 2003). En ella, cada trabajador realizaba un pequeño paso de un complejo proceso sin tener que desplazarse de su puesto de trabajo, lo que se transformaba en rentabilidad de producción. La propuesta de la cadena de producción de Ford tuvo tanto éxito gracias a los estudios realizados por Taylor.

A partir de estas propuestas, los managers han definido enfoques más sistematizados para mejorar sus procesos. Las nuevas tecnologías han permitido nuevos procesos de negocio.

Sin embargo, la propuesta de los procesos como un conjunto de actividades o tareas a través de diferentes organizaciones es relativamente reciente.

En (Porter, 1985), Porter define el concepto de *la cadena de valor* de una organización como el conjunto de procesos y actividades de una organización que genera valor en los productos o servicios que se ofrecen al cliente. Porter identifica dos tipos de procesos

en la cadena de valor, los *primarios* y los *secundarios*. Los primarios son los procesos básicos de la organización relacionados con la producción y distribución de productos y servicios que crean dicho valor para el cliente. Los procesos secundarios sirven de soporte a los primarios y permiten que éstos puedan ser ejecutados. Porter indica se debe analizar el funcionamiento de cada uno de los procesos de la cadena identificando aspectos distintivos que permita posicionarse respecto a otras organizaciones en un entorno de competencia.

En la década de los 90, se comenzó a adoptar el concepto de reingeniería de procesos como enfoque para posicionarse en el entorno de competencia. Este concepto se centra en los procesos de negocio. De esta forma, las propuestas de los principales autores de la reingeniería de procesos incluyen el concepto de proceso de negocio.

En (Davenport, 1993), Thomas Davenport, uno de los pioneros de la reingeniería de procesos, propone la definición de un proceso de negocio como:

«Un conjunto estructurado, medible de actividades diseñadas para producir un producto especificado, para un cliente o mercado específico. Implica un fuerte énfasis en cómo se ejecuta el trabajo dentro de la organización, en contraste con el énfasis en el qué...Este elemento estructural es clave para lograr los beneficios de la innovación de procesos.»

Hammer, a partir de su propuesta en (Hammer, 1990) indica que se deben eliminar aquellos procesos de negocio de la organización que no aportan valor añadido más que automatizarlos. Además, en este trabajo, Hammer indica que la actividad desempeñada por un trabajador debe girar sobre unos objetivos o resultados en lugar de centrarse en la tarea a realizar. Por otro lado, en (Hammer, 1997) se establece que la diferencia entre una tarea y un proceso es similar a la diferencia entre la parte y el todo.

«Una tarea es una unidad de trabajo, una actividad de trabajo realizada normalmente por una persona. Un proceso, en

contraste, es un grupo de tareas que juntas crean un resultado con valor añadido para el cliente.»

En este sentido, indica que se debe establecer una nueva conceptualización del proceso de negocio y precisa el concepto definiéndolo como un grupo organizado de actividades relacionadas entre sí y que juntas crean un resultado de valor añadido para el cliente.

En la misma línea en (Hammer & Champy, 1993) se define el concepto de proceso de negocio con un enfoque orientado a la transformación más que hacia los elementos estructurales. Según Hammer y Champy la reingeniería se desarrolla alrededor de los procesos de negocio y no alrededor de tareas, descripciones de trabajos, personas o estructuras:

«Un proceso de negocio recibe una entrada o entradas y genera una salida que supone un valor para el cliente. Un proceso de negocio sólo es útil si genera valor añadido, no actividad interna.»

Otros de los autores importantes de este movimiento son Geary Rummler y Alan Brache que en (Rummler & Brache, 1995) proponen una definición del concepto de proceso de negocio centrado en los clientes externos a la organización.

«Un proceso de negocio es una serie de pasos diseñados para producir un producto o servicio...Algunos procesos obtienen un resultado que es recibido por un cliente externo a la organización. Nosotros llamamos a estos procesos primarios. Otros procesos producen productos que son invisibles para los clientes externos pero fundamentales para realizar una gestión eficaz del negocio. Nosotros los llamamos procesos de soporte.»

Como se muestra en su definición Rummler y Brache siguen el enfoque de clasificación de la cadena de valor de Porter.

En (Harmon, 2003), a partir de las propuestas de diversos autores, se propone un modelo que define un proceso de negocio como una secuencia de actividades que buscan alcanzar un

objetivo de negocio común. Harmon indica que, aunque muchas de las propuestas aceptan el concepto de proceso y actividad como sinónimos, su modelo distingue ambos términos, definiendo las actividades como los procesos de menor detalle de abstracción. Es decir aquellos que no tiene sentido dividirlos en más subprocesos. En este sentido el modelo jerárquico propuesto se divide en los siguientes procesos:

- Cadena de valor. Se trata de los procesos principales de la organización de donde parte el resto. Son los procesos más genéricos y comprensibles soportados por cualquier organización.
- Proceso: Se trata de una subdivisión de la cadena de valor que comprende otros procesos, subprocesos y actividades. Los subprocesos pueden ser referenciados como tareas.
- Actividades: Se trata de los procesos de menor tamaño y que no tiene sentido ser divididos en nuevos procesos. Normalmente se describen como procedimientos.

Todos estos procesos pueden ser clasificados a su vez en *procesos centrales* y *procesos suplementarios*. Los primeros, engloban las actividades críticas y principales de la organización que producen productos o servicios para el cliente; los segundos, facilitan la ejecución de los procesos centrales.

Harmon indica además que los procesos tienen asociado un objetivo que debe ser medido para garantizar su cumplimiento. Como se define en el modelo una cadena de valor se divide en procesos que, a su vez son divididos en subprocesos y, finalmente, en actividades. De la misma forma se deben establecer los objetivos de cada elemento relacionado con los objetivos de nivel superior. En este sentido, se debe establecer medidas que controlen el cumplimiento de los objetivos por cada cadena de valor, proceso, subproceso y actividad.

En (Barros, 2007) se propone una ontología de procesos de negocio que implica otra clasificación de los procesos a través de

lo que denominan macroprocesos. Estos macroprocesos se dividen en *macro1* que hace referencia a la cadena de valor, *macro2* relacionado con aquellos procesos que implican el desarrollo de nuevas capacidades y oportunidades que permitan posicionarse frente a la competencia, *macro3* para referirse a los procesos estratégicos que dirigen el futuro del negocio y *macro4* para aquellos procesos relacionados con procesos de gestión de recursos de soporte. La propuesta define cada macroproceso como un proceso que puede ser dividido en subprocesos y éstos, a su vez, en actividades.

Otro ámbito que se centra en el concepto de proceso de negocio son los estándares y normativas para la gestión de la calidad como son las Normas ISO y el modelo EFQM de excelencia.

En el primer caso, en concreto en la norma ISO-9001 (ISO, 2000), el concepto de proceso de negocio es definido como:

«Una actividad que utiliza recursos, y que se gestiona con el fin de permitir que los elementos de entrada se transformen en resultados.»

En la familia de normas ISO 9000 se establecen los siguientes tipos de procesos: *los procesos de planificación* centrados en la dirección estratégica, el establecimiento de políticas y objetivos, etc., *los procesos para la gestión de recursos* centrados en dar soporte a otros procesos, *los procesos de realización del producto* que representarían los procesos principales de la organización de cara a proveer resultados con valor para el cliente y *procesos de medición, análisis y mejora* centrados en la captación de información para mejorar los procesos de la organización.

En el segundo caso, el modelo EFQM (EFQM, 2010), el proceso de negocio se define como:

«Una secuencia de actividades que van añadiendo valor mientras se produce un determinado producto o servicio a partir de determinadas aportaciones.»

Este modelo clasifica los procesos en: *procesos estratégicos* como aquéllos relacionados con la dirección y decisiones a largo plazo,

procesos operativos como aquellos vinculados directamente con la realización del producto o la prestación del servicio, y, *los procesos de apoyo* como los que dan soporte a los procesos operativos.

Por último, dos de los principales impulsores del modelo BPM en (Smith & Fingar, 2002) matizan el concepto de proceso de negocio a partir de la propuesta de Thomas Davenport indicando que no se recoge la naturaleza colaborativa y transaccional de los procesos de negocio:

«Un proceso de negocio es el conjunto completo y dinámico de actividades colaborativas y transaccionales que proveen valor a los clientes.»

Y añade que ha y tres características fundamentales de los procesos:

«Coordination, coordination y coordination!!!»

Smith y Fingar lo justifican indicando que si todas las tareas son unidades individuales para formar un proceso de negocio deben coordinarse fundamentalmente.

Smith y Fingar hacen referencia a la clasificación de los procesos en *procesos centrales o primarios* y *procesos de contexto o soporte*.

A los primeros se refieren como procesos estratégicos para la organización y que pueden tener una naturaleza simple y estática o compleja y dinámica.

A los segundos se refieren como menos estratégicos para la organización pero necesarios para su funcionamiento y pueden tener la misma naturaleza que los anteriores.

Tras esta revisión de las diferentes propuestas del concepto de proceso de negocio y sus clasificaciones se puede concluir, que, aunque existen propuestas diferentes, prácticamente estas diferencias radican en pequeñas precisiones según el modelo de gestión vigente cuando se definieron, o en la nomenclatura en el caso de las clasificaciones pero que mantienen unos principios fundamentales comunes.

Teorías Modernas de Gestión de Procesos de Negocio

En esta apartado se recogen las principales propuestas de las teorías modernas de gestión empresarial centradas en los procesos de negocio y sus fundamentos con el fin de justificar la elección del modelo más adecuado para la consecución de los objetivos de los nuevos modelos de negocio. Esta decisión es una parte fundamental para la formulación de la hipótesis de partida como solución a la problemática tratada en el trabajo de investigación.

A principio de los 90 comenzaron a surgir teorías de gestión de procesos que se fundamentaban en el uso de las tecnologías de la información. Estas teorías junto con la evolución de Internet fueron propiciando la aparición de lo que conocemos hoy en día como e-Business.

Una de estas teorías es la reingeniería de procesos de negocio (BPR —*Business Process Reengineering*) nacida a partir de la publicación realizada por Michael Hammer titulada *Don't automate, obliterate* en el *Harvard Business Review* (Hammer, 1990). La propuesta de Hammer indicaba que muchos de los trabajos llevados a cabo en la organización se realizaban sin añadir valor para el cliente, y estas actividades debían ser eliminadas, y no aceleradas a través de la automatización. Éstas debían ser rediseñadas para aprovechar todo el potencial de las TI. Junto a James A. Champy en (Hammer & Champy, 1993) profundizaron en este enfoque publicando *Reengineering Corporation: A Manifesto for Business Revolution*, que se centraba en una transformación radical de la organización eliminando aquellas actividades sin valor añadido.

Al mismo tiempo, Davenport y Short publicaban el artículo titulado *The New Industrial Engineering: Information Technology and Business Process Redesign* (Davenport & Short, 1990) donde se proponía la innovación de procesos pero con un enfoque menos radical centrándose más en la propuesta de una

metodología para su consecución. En su propuesta Davenport y Short argumentaban que la combinación de las TI y el rediseño de los procesos de negocio podrían transformar la organización y mejorar sus procesos de negocio, siendo, de esta forma, el principal precursor de la integración entre negocio y las TI (Davenport, 1998).

Ambos enfoques, tanto el de Hammer como el de Davenport, insistían en que las compañías debían pensar en términos de procesos comprensibles y coincidían en que la solución para la organización debía darse en dos fases: una primera donde los procesos de negocio debían ser conceptualizados por completo como entidades comprensivas que aborasen desde la petición inicial del cliente hasta la entrega del producto. Una segunda fase donde la TI se debía usar para integrar estos procesos (Harmon, 2003).

A partir de estos enfoques, sobre todo de la propuesta de Davenport y Short, el paradigma o movimiento BPR se centró en las TI como un habilitador clave para la gestión de procesos y el cambio de procesos. Esto implicó que las TI fueran ganando posición en las empresas. Como una consecuencia directa del movimiento de reingeniería y del auge de las TI, las grandes compañías se apresuraron a implementar sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*) (Chang, 2005). Estos sistemas comenzaron a denominarse como *Sistemas de Gestión de Procesos de Negocio*.

Aunque los ERP han sentado las bases para los sistemas actuales junto con el desarrollo de las tecnologías de Internet, no estuvieron exentos de problemas y críticas que disminuyeron la popularidad del enfoque.

- El uso de los sistemas ERP se realiza en orden inverso. Los procesos de la organización se deben adaptar a la aplicación y, aunque se podían introducir módulos adaptados al funcionamiento de la empresa, se desarrollo conllevaba un enorme coste (Harmon, 2003) (Chnag, 2005) (Smith & Fingar, 2002).

- Estos sistemas parten de buenas prácticas que incluye el conjunto de procesos que la organización debería tener, no contemplan otra solución óptima. Estos pueden ser correctos en el momento en que se definieron pero no ser los adecuados en un futuro (Chang, 2005).
- No aportaban innovación de procesos puesto que estaban basados en las mismas prácticas (Chang, 2005).
- No se tuvo en cuenta los problemas de integración y alineación de las TI y el negocio (Harmon, 2003).
- Se partía de los procesos internos de la organización y no contemplaba la complejidad de interacciones existentes entre las organizaciones (Chang, 2005) (Smith & Fingar, 2002).

A mediados de los 90 se puede decir que comenzaron a aparecer las primeras ideas sobre el movimiento BPM (*Business Process Management*). Muchas de las empresas habían adoptado los modelos anteriores y se planteaban como mejorar de forma continua sus procesos de negocio. En (Elzinga *et al.*, 1995) se puede encontrar una de las primeras definiciones que describe el enfoque como:

«Un sistemático, enfoque estructurado para analizar, mejorar, controlar y gestionar procesos con el objetivo de mejorar la calidad de los productos o servicios...BPM es, de este modo, el método mediante el cual una empresa lleva a cabo su programa de calidad.»

No obstante, en la actualidad sigue habiendo controversia entre lo que realmente es BPM.

En (Jeston & Neils, 2006) se define como *la consecución de los objetivos de la organización a través de la mejora, gestión y control de los procesos de negocio esenciales.*

Por otro lado, en (Harmon, 2005) se define como *una disciplina de gestión centrada en la mejora del rendimiento de una organización por medio de la gestión de sus procesos de negocio.*

Según el libro de Smith y Fingar titulado *Business Process Management: the Third Wave* (Smith & Fingar, 2002) y que hoy en día es tratado como la biblia del BPM, el enfoque BPM se concibe como:

«La maduración y la síntesis de las prácticas de gestión de procesos y las TI modernas, es decir, una convergencia real entre ambos dominios que permite alineación entre el negocio y las TI...»

«Por primera vez en la historia del negocio, esta convergencia hace posible que las compañías puedan gestionar sus procesos de negocio con gran agilidad...»

Smith y Fingar describen que ha habido tres grandes movimientos en la gestión de procesos de negocio: el primer movimiento comenzó con la *teoría de gestión* propuesta por Frederick Taylor, el segundo movimiento fue la reingeniería de procesos que materializó su automatización en los sistemas ERP, y el tercer movimiento es el BPM que contempla entre sus fundamentos las TI y las teorías de gestión de procesos junto con las capacidades de agilidad y adaptación al cambio.

Según (Chang, 2005) algunas de las características que diferencian los movimientos descritos son:

- En el diseño de procesos se tiene en cuenta el cambio constante en los procesos, no que estos se diseñen para ser duraderos. BPR se centra en la consecución del mejor modelo para un proceso
- BPM no cree en el proceso perfecto. BPR sí, y éste se debe encontrar a través de buenos análisis y diseños.
- BPR aboga por la re-ingeniería para localizar el proceso perfecto. BPM se centra en el cambio continuo por lo que el proceso perfecto de hoy puede que no lo sea mañana.
- BPR aboga por introducir tecnología en todos los procesos. BPM solo donde haga falta.

- A diferencia de lo que sucedía en el enfoque BPR en el BPM los diseñadores de procesos están implicados directamente en el diseño de los sistemas.

El modelo BPM incluye ocho funcionalidades (Smith & Fingar, 2002): el descubrimiento de procesos, el diseño o modelado, el despliegue, la ejecución, la interacción con los procesos, el control, la optimización y el análisis. En este sentido BPM se puede definir como un proceso para gestionar procesos de negocio. En la figura 2-1 se muestra el ciclo de vida del BPM.

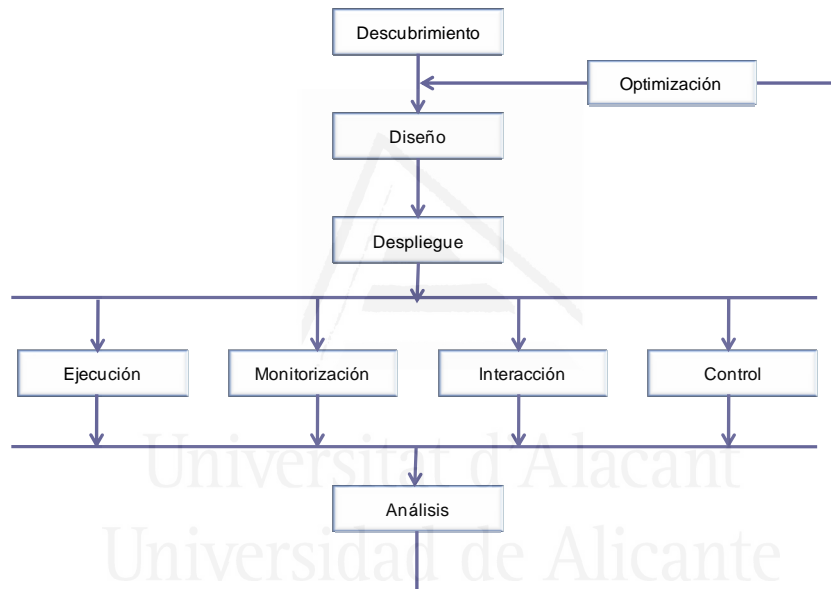


Figura 2-1. Ciclo de vida del modelo BPM.

De la misma forma que el movimiento BPR fue asociado a los sistemas ERP, en el movimiento BPM ha emergido una solución software centrada en la gestión de procesos que sustenta los principios y el ciclo de vida del modelo BPM y permite la integración de personas, sistemas y proveedores y, la automatización y colaboración de procesos. Son los denominados sistemas BPMS (*Business Process Management System*) (Chang, 2005). Los sistemas BPMS han logrado la integración de tecnologías provenientes de distintas áreas que combinadas con

una orientación centrada en los procesos les ha dotado de unas características diferenciales con respecto a otras soluciones.

Inicialmente, los sistemas BPMS se presentan como la convergencia y evolución de los sistemas Workflows y soluciones EAI (*Enterprise Application Integration*). Sus principales componentes son recogidos en (Smith & Fingar, 2002) (Jeston & Neils, 2006):

- Motor de ejecución de procesos (workflow).
- Motor de reglas de negocio (BPMS —*Business Process Management System*).
- Soluciones para integración de aplicaciones de empresa (EAI —*Enterprise Application Integration*).
- Sistemas de monitorización de procesos (BAM —*Business Activity Monitoring*).
- Sistemas de modelado de procesos (*Business Process Modelling*).

De forma resumida, las ventajas que puede ofrecer la implantación de un sistema BPMS tanto desde el punto de vista del responsable de negocio como de los responsables TI según (Chang, 2005) son:

- Permite a los responsables de negocio.
 - Mostrar información de los indicadores claves de proceso.
 - Reducir costes mediante la automatización y la mejora de los procesos en tiempo real.
 - Mejorar la satisfacción del cliente.
 - Adaptar los procesos a los cambios de forma ágil.
- Permite a los responsables TI.
 - Despliegue inmediato de aplicaciones centradas en procesos.

- Llevar a cabo soluciones que hagan frente a las necesidades derivadas del cambio continuo.
- Minimizar el riesgo de proyectos.
- Aprovechar las inversiones en las TI existentes.

De este estudio se puede concluir que el movimiento BPR y los sistemas que lo implementan como los ERP parten de la premisa de la existencia de los procesos óptimos y buenas prácticas basadas en estos procesos que hacen de este enfoque una propuesta rígida, difícil de adaptar de forma ágil frente al cambio.

Sin embargo, el modelo BPM se fundamenta en el cambio como uno de sus principales pilares, en la mejora continua de los procesos y en las tecnologías de la información emergentes obteniendo un modelo ágil, flexible y dinámico que permite alineación entre los objetivos estratégico con los operacionales.

Esto hace que el modelo BPM se idóneo para afrontar los requerimientos de los nuevos modelos de negocio y producción.

Paradigma de Arquitectura Orientada a Servicios

Aunque tradicionalmente el modelo BPM y el paradigma SOA (*Service Oriented Architecture*) han crecido como dos iniciativas independientes, en los últimos tiempos se ha demostrado el beneficio de la convergencia de ambos enfoques (Kamoun, 2007).

Este hecho ha permitido la alineación entre los procesos de negocio y las IT, obteniendo una propuesta en consonancia con los requisitos fundamentales en los nuevos modelos de negocio, como la agilidad, la flexibilidad, la reducción de costes y la eficiencia (Kamoun, 2007) (Harmon, 2005). Además, otro aspecto importante que aporta SOA como infraestructuras tecnológica de BPM es la posibilidad de automatización de procesos (Jeston & Neils, 2006) entre todos los participantes del negocio, incluyendo

los niveles inferiores de producción y sus elementos de forma más eficiente (la maquinaria industrial).

En este apartado se describen las principales ventajas del paradigma de Arquitecturas Orientadas a Servicios, en adelante SOA, y las propuestas que justifican la adecuación de dicho modelo aplicado al paradigma BPM.

No existe una definición clara del paradigma SOA y sí una controversia sobre si debería haberse incluido la palabra arquitectura en su nombre. En este sentido, la organización de estándares OASIS en (SOA-RM, 2010), en un intento de unificar conceptos, ha definido un modelo de referencia que permitiera eliminar esta ambigüedad. En ella define SOA como:

«Un paradigma para organizar y utilizar capacidades distribuidas que podrían estar bajo el control de diferentes propietarios... SOA es un medio para organizar soluciones que promueve la reusabilidad, escalabilidad e interoperabilidad.»

Otras propuestas como (Marks & Bell, 2006) define SOA como:

«Una arquitectura de negocio conceptual donde funcionalidades de negocio o lógica de aplicación, se pone a disposición de usuarios SOA, o consumidores, compartidos, como servicios reusables en una red TI.»

La unidad arquitectónica básica del paradigma SOA es el servicio que representa las capacidades de negocio, la lógica de una actividad o una aplicación funcional que implica un resultado específico y es expuesta mediante una interfaz a los consumidores para ser invocados de forma repetitiva (Marks & Bell, 2006) (Erl, 2005) (Open-Group, 2010).

Las características de los servicios en el modelo SOA son recogidas en (Marks & Bell, 2006) (Erl, 2005) (SOA-RM, 2010): entidades autónomas y auto-contenidas, reusables, duraderas, con contratos perfectamente definidos, interoperables, componibles, exponen funcionalidades de alto nivel de abstracción, débilmente acopladas, descubribles, alineadas con el negocio.

En (Marks & Bell, 2006) se definen dos tipos de servicios. Los primeros son denominados *servicios de negocio*. Éstos representan conceptos de negocio y sus relaciones y son normalmente asociados con la ejecución de funciones del negocio de la organización o del dominio de negocio. Los segundos son llamados *servicios tecnológicos* y representan funcionalidades de aplicaciones que son utilizadas por los anteriores

Otra clasificación de servicios es la realizada en (Erl, 2005) en la cual se define un modelo basado en capas siguiendo el patrón *logical inventory layer pattern* (Erl, 2009).

Erl propone tres capas funcionales: la capa de servicios de aplicación, la capa de servicios de negocio y la capa de servicios de orquestación.

La *capa de servicios de aplicación* es la más baja en el modelo y expone la funcionalidad específicamente tecnológica. Los servicios ubicados en esta capa son denominados *servicios de aplicación*. Se trata de servicios agnósticos independientes del dominio de aplicación y que son utilizados por los servicios de las capas superiores para abordar su cometido. Erl establece dos tipos de servicios de aplicaciones:

- *Los servicios de utilería*. Estos servicios exponen lógica reusable. Por un lado, representan funcionalidades tecnológicas de tipo genérico que podrían ser utilizadas independientemente del dominio de aplicación y que son conocidos también como *servicios de soporte o infraestructura*. Por otro lado, también incluyen servicios que exponen lógica de negocio pero reusable en diversos dominios.
- *Los servicios de encapsulado o services wrappers* es un tipo de servicio orientado a la integración de aplicaciones o sistemas heredados.

La capa situada encima de la de aplicación se denomina *capa de servicios de negocio* y es responsable de albergar aquellos

servicios que incluyen únicamente lógica de negocio. *Los servicios de negocio* ubicados en esta capa se clasifican en dos tipos:

- *Los servicios de negocio orientados a la tarea*, que representan una unidad atómica de lógica de proceso.
- *Los servicios de negocio orientados a la entidad* son servicios de tipo agnóstico, que representan una o más entidades relacionadas con el negocio.

Por último, la capa de servicios de orquestación es la capa superior del modelo y que se encuentra más cerca del negocio de la organización. En ella se ubican los *servicios de orquestación* que exponen o representan los procesos de negocio de la organización a partir de la composición de, bien, otros servicios de orquestación o, bien, servicios atómicos de las capas inferiores.

A partir de la definición de servicios en el contexto de la arquitectura SOA se deben ofrecer los mecanismos necesarios que permitan su gobierno y gestión. En (Marks & Bell, 2006) (Erl, 2005) se definen estos mecanismos como composición de servicios mediante orquestación y coreografía, sincronización, transacciones, seguridad, comunicación y mensajería, descubrimiento, políticas de interacción, monitorización.

Los actores que participan en un escenario SOA se pueden resumir en los proveedores de servicios que exponen sus funcionalidades a través de la red como capacidades de servicios, los consumidores que invocan a dichos servicios y el intermediario o bróker que sirve como catálogo de servicios. Existen diversos estilos arquitectónicos que definen tanto las funcionalidades de cada uno de los actores como la relación estructural entre los mismos. Estos estilos arquitectónicos son recogidos en (Dillon *et al.*, 2008) y se muestran de forma resumida a continuación.

- El *matchmaker style* es la arquitectura más básica donde el elemento intermedio o bróker únicamente se encarga del registro de los servicios para que estos puedan ser

localizados y consumidos. La comunicación posteriormente se realiza entre el consumidor y el proveedor.

- En el *broker style* el intermediario también es responsable o toma parte en la comunicación entre el consumidor y el proveedor de servicios.
- En el *P2P style*, a diferencia de los dos estilos anteriores, que establecen un modelo centralizado para el registro de servicios, dicha funcionalidad se encuentra distribuida entre las partes participantes en el escenario SOA, entre los proveedores y consumidores de servicios.

A partir del análisis realizado sobre el paradigma SOA, los beneficios extraídos de (Erl, 2005) (Marks & Bell, 2006) (SOA-RM, 2010) se resumen en:

- Agilidad y flexibilidad del negocio.
- Rápida adaptación al cambio.
- Reusabilidad de servicios.
- Aumento de la productividad en el desarrollo de soluciones.
- Independencia de la tecnología, desacoplamiento e integración.

Todos estos beneficios hacen que SOA sea el modelo conceptual desde el punto de vista tecnológico más adecuado para sustentar los sistemas BPMS. Además, resulta sencillo establecer una correlación entre el dominio de los procesos de negocio y el dominio de los servicios. En este sentido, como referencia se puede establecer la correlación de un servicio atómico con una actividad de un proceso y de un proceso o subproceso de negocio con un servicio orquestado y, a partir de esta relación, establecer los elementos necesarios para su gestión.

Estos beneficios de la sinergia entre SOA y BPM son recogidos en diferentes publicaciones y tomadas hoy en día como buenas prácticas (Smith & Fingar, 2002) (Erl, 2005) (Harmon, 2005)

(Kamoun, 2007) (Ward-Dutton, 2009) (Sweeney, 2010). En alguna de ellas como en (Woodley & Gagnon, 2005) se establece una metodología para llevar a cabo dicha sinergia de una forma adecuada.

Especificaciones y Tecnologías de Servicios Web

Los Servicios Web se han convertido en el modelo tecnológico que ha propiciado el éxito del paradigma SOA e impulsado su desarrollo en los últimos tiempos (Marks & Bell, 2006). Este hecho se demuestra a través del concepto que se ha denominado SOA Contemporáneo (Erl, 2005) que representa una arquitectura que promueve el paradigma de arquitectura orientada a servicio mediante el uso de Servicios Web y los presenta como dos modelos, conceptual y tecnológico, estrechamente unidos. De hecho, se considera que parte de los avances y nuevos enfoques de SOA se han debido a la influencia de las especificaciones y estándares de Servicios Web de segunda generación. Se podría decir que SOA ha impulsado el modelo BPM desde un punto de vista conceptual y los Servicios Web desde el punto de vista tecnológico. En este aspecto, el presente estudio tiene como objetivo conocer las principales especificaciones y estándares WS-* para proponer posteriormente la arquitectura IMaaS que elimine las restricciones tecnológicas existentes entre los elementos de producción y los de gestión.

La primera generación de servicios Web apareció en torno a la propuesta de la especificación SOAP (*Simple Object Access Protocol*) (SOAP, 2007) como una propuesta basada en XML (*eXtensible Markup Language*) orientada a crear un estándar para unificar los modelos propietarios RPC (*Remote Procedure Call*) de comunicación distribuida, que permitiera la interoperación entre aplicaciones B2B independientemente del lenguaje de programación y de la plataforma operativa. Esta iniciativa se vio como una oportunidad de desarrollo entorno al e-Business a

través de la Web, con lo que empezó a hablarse de Servicios Web. Esta primer generación se completaba con la especificación WSDL (*Web Service Definition Language*) (Christensen et al, 2001) para la descripción de interfaces públicas de Servicios Web y con la especificación UDDI (*Universal Description, Discovery and Integration*) (UDDI, 2004) que provee una forma estándar de registrar, publicar y localizar los servicios.

Con la primera generación de Servicios Web se podía abarcar tecnológicamente los principios del paradigma SOA, *SOA primitivo* (Erl, 2005).

No obstante, el enorme potencial que veían los principales proveedores de TI para enfocar la propuesta hacia el e-Business ha derivado en las diversas extensiones de funcionalidad sobre el protocolo SOAP para abordar carencias y requerimientos de los sistemas distribuidos bajo el concepto del paradigma SOA. Esto ha dado lugar a los Servicios Web de segunda generación o WS-* y que se ha denominado como *SOA Contemporáneo* (Erl, 2005), como se comentó anteriormente.

Una de las carencias asociadas a los Servicios Web de primera generación era el intercambio de contenido binario sobre el protocolo SOAP. En este sentido, la propuesta SwA (*SOAP with Attachments*) (SwA, 2000) define un método que permite el envío de contenido binario mediante la conjunción de MIME (*Multipurpose Internet Mail Extension*) y SOAP. No obstante, se ha criticado el uso de esta propuesta por dos razones. En primer lugar, se ha demostrado que es ineficiente porque usa cadenas de texto para delimitar las partes del mensaje lo que implica por parte del consumidor de servicios la lectura del mensaje completo para obtener la información. Por otro lado, MIME no puede ser representado mediante XML, lo que rompe con el modelo de Servicios Web. Aunque se ha gestionado a través del W3C la propuesta no se ha considerado como estándar. Otra propuestas con el mismo objetivo es DIME (*Direct Internet Message Encapsulation*) (DIME, 2001) que fue creada para mejorar el rendimiento en el intercambio de mensajes de tipo MIME a través de Internet. A diferencia del caso anterior, no es necesario

recorrer todo el mensaje entero para localizar los delimitadores de las partes porque el tamaño de los mensajes es incluido en la cabecera del mismo. Sin embargo, sigue sin proveer un modelo adecuado compatible con los Servicios Web lo que deriva en una baja interoperabilidad con SOAP y una pobre capacidad de integración con otros protocolos de WS-*. Actualmente, el *Message Transmission Optimization Mechanism* o MTOM (MTOM, 2005), se ha convertido en el estándar de facto. MTOM es un estándar de la organización W3C y proporciona un compromiso entre el rendimiento provisto por DIME y la interoperabilidad e integración con el modelo de Servicios Web. Para ello se basa en el uso de XOP (*XML-binary Optimized Packaging*) (XOP, 2005), una tecnología que permite la optimización de envío de mensajes binarios sobre XML y la propuestas de extensión de SOAP para incluir los archivos binarios en el cuerpo del mensaje SOAP.

En los Servicios Web de primera generación el protocolo SOAP únicamente contempla como mecanismo de comunicación el modelo de unidifusión. En la segunda generación de Servicios Web existen diversos protocolos y especificaciones para los que este mecanismo de comunicación es insuficiente. El estándar WS-SOAPOverUDP (WS-SOAPOverUDP, 2004) fue creado para resolver estas carencias, proporcionando un mecanismo de comunicación basado en la multidifusión sobre UDP sobre el que se sustenta un elevado número de otras especificaciones WS-*.

El estándar WS-Addressing del W3C (WS-Addressing, 2004) se centra en la propuesta de un protocolo que permite el direccionamiento de mensajes entre Servicios Web independientemente del protocolo de transporte utilizado. Se trata de una extensión de SOAP que permite incluir en el mensaje información sobre el emisor y el receptor del mensaje entre Servicios Web.

Uno de los principales aspectos que se han cubierto en la segunda generación de Servicios Web es la seguridad. En las especificaciones WS-* existe una familia de estándares, extensiones y especificaciones de seguridad que cubren todos los aspectos relacionados con el ámbito. Como base de esta familia

se encuentra el estándar WS-Security (WS-Security, 2004) publicada por la organización OASIS por primera vez en el 2004. El protocolo define las bases de comunicación de mensajes de Servicios Web con el objetivo de garantizar la integridad y seguridad en el proceso de intercambio (mediante *Username token*, *XMLEncryption* y *XMLSignature*). WS-Security es flexible e incluye en su especificación detalles para la integración con un amplio abanico de modelos de seguridad como Autenticación (WS-Security, 2006a), PKI (*Public Key Infrastructure*) (WS-security, 2004), SSL (*Secure Socket Layer*), SAML (*Security Assertion Markup Language*) (WS-security, 2006c) y Kerberos (WS-security, 2006d) o formatos de certificados como puede ser X.509 (WS-Security, 2006b). WS-Security soporta una amplia variedad de formatos de identificación, firmas y dominios de certificación o tecnologías de encriptación. Sobre este estándar se ha definido una serie de extensiones para completar el modelo propuesto por WS-security como WS-SecurityPolicy (WSSP, 2007) que extiende el framework WS-Policy y permite a un Servicio Web definir los requerimientos y restricciones de seguridad al interactuar con un consumidor; WS-Trust (WST, 2007) define cómo son creadas las relaciones de confianza y su gestión; WS-SecureConversation (WSSC, 2007) se sustenta sobre WS-Security y WS-Trust y permite establecer una comunicación segura entre Servicios Web definiendo mecanismos para establecer y definir contextos de seguridad sobre los que realizar el intercambio de conjuntos de mensajes sin la necesidad de validar cada uno de ellos por separado; la especificación WS-Federation (WSF, 2006) establece los mecanismos necesarios para integrar conversaciones que utilizan diferentes mecanismos de seguridad definiendo cómo se debe llevar a cabo la intermediación entre las partes; las propuestas de WS-Privacy y WS-Authorization que completan la pila de protocolos de seguridad de Servicios Web, no tiene todavía una versión publicada. La primera propuesta establecerá una especificación para permitir la transmisión de políticas de privacidad. La segunda, definirá la gestión de las políticas de control de acceso a los Servicios Web. Actualmente, el estándar WS-XACML (*Web*

Service eXtensible Access Control Markup Language) (WS-XACML, 2006) puede ser utilizado para solventar la carencia de la autorización de acceso a Servicios Web. La especificación WS-XACML puede integrarse con la especificación WS-Policy si se quiere agrupar políticas de varios dominios pero también puede usarse de forma independiente.

La tolerancia a fallos y calidad de servicio en la entrega de mensajes es otro de los aspectos de los que carece la generación inicial de Servicios Web. Dentro de las especificaciones WS-* existe dos propuestas que inciden en estos aspectos garantizando la confiabilidad de entrega de mensajes como son WS-Reliability (WS-R, 2004) y WS-ReliableMessaging (WS-RM, 2007). Aunque ambos estándares ofrecen el mismo servicio y comparten similitudes como confirmación de recepción de mensajes, ordenación, eliminación de duplicados, agrupación de mensajes, calidad de servicio, control de tiempo, seguridad (integración con WS-Security) e informes de errores la forma de llevarlo a cabo es muy diferente (Shrideep *et al.*, 2005). En primer lugar, WS-Reliability es un protocolo basado en el estándar SOAP, mientras que WS-ReliableMesseaging define su propia estructura XML y la forma de enlazarlo a SOAP. Otras de sus diferencias son, por ejemplo, que en WS-Reliability, si un grupo de mensajes es compuesto por un único mensaje no necesita identificador en el mensaje. En WS-ReliableMessaging cualquier agrupación de mensajes, aunque se componga de un solo mensaje, debe contener información de la secuencia. En WS-Reliability no se comunica explícitamente la creación de un grupo de mensajes, se indica con la recepción de otro nuevo, lo que puede acarrear problemas en caso de colisiones. En WS-ReliableMessaging sí existen mensajes de comienzo en la secuencia de mensajes que garantizan la identificación única de secuencias de mensajes evitando la duplicidad ante colisiones. Ambos presentan múltiples reglas de terminación de mensajes. Otro ejemplo es que WS-Reliability soporta sólo confirmación positiva mientras que WS-ReliableMessaging soporta tanto confirmación positiva como negativa lo que permite que la detección de errores pueda ser realizada tanto por el emisor como por el receptor. WS-Reliability

presenta un modelo fuertemente acoplado del mecanismo de negociación de entrega del mensaje involucrando al productor y consumidor en el ciclo de vida del proceso. WS-ReliableMessage utiliza sin embargo dos elementos de control encargados de la entrega confiable del mensaje, *RM-Source* y *RM-Destination*, abstrayendo al consumidor y al proveedor de aspectos del proceso. Para ello es necesaria la creación de una secuencia de mensajes que garantice la identificación de los mismos. Por otro lado, WS-ReliableMessaging se integra de forma transparente con algunos de los principales estándares WS-* como WS-Addressing, WS-Security y WS-Policy. Con el paso del tiempo las organizaciones que propusieron WS-Reliability han adoptado la propuesta WS-ReliableMessaging.

La gestión de transacciones en operaciones es un aspecto fundamental en entornos distribuidos que implique la interacción de diferentes procesos, en este caso servicios. Existen dos propuestas principales que contemplan los principios y fundamentos de las transacciones distribuidas. Aunque en un principio los dos enfoques partieron de diferentes organizaciones, actualmente ambos estándares son gestionados por OASIS. Ambos enfoques están formados por un conjunto de especificaciones WS-* que, por un lado, ofrecen un conjunto de funcionalidades de tipo genérico para la compartición de información y la coordinación de actividades que implique la colaboración de varios participantes y, por otro lado, existe un conjunto de especificaciones que se sustentan sobre las anteriores y extienden su funcionalidad personalizando su comportamiento en función del tipo de transacciones que se quiera abordar (atómicas, procesos de larga duración, etc.).

En el primer enfoque, la especificación de tipo genérica que define la funcionalidad de coordinación es WS-Coordination (WSC, 2006) y WS-Transaction (WSTX, 2009) extiende su comportamiento ofreciendo dos protocolos transaccionales a través de las especificaciones WS-AtomicTransaction (WSAT, 2006) y WS-BusinessActivity (WSBA, 2007). El segundo enfoque se enmarca dentro de la propuesta de un framework de

composición de servicios denominado WS-CAF (*Web Services Composite Application Framework*) (WS-CAF, 2006) que se basa en dos especificaciones para ofrecer la funcionalidad de coordinación y compartición de información como WS-Context y WS-CoordinationFramework, y en una tercera especificación que engloba el comportamiento específico de un sistema de transacciones como WS-TransactionManagement compuesto de los protocolos TX-ACID (*ACID Transactions*), TX-LRA (*Long Running Activities Transactions*) y TX-BP (*Business Process Transactions*).

Una de las características del modelo SOA es la capacidad de descubrimiento y localización de los servicios para poder ser consumidos. Existen tres propuestas centradas en resolver estas cuestiones pero con tres enfoques muy diferentes. La primera propuesta es WSIL (*Web Services Inspection Language*) (WSIL, 2001) una especificación de IBM que define un protocolo que permite inspeccionar y descubrir Servicios Web en un proveedor concreto. Se trata de un mecanismo descentralizado pero con gran dependencia entre el consumidor y el proveedor del servicio puesto que para poder llevar a cabo el proceso de descubrimiento el consumidor debe conocer la ubicación física del proveedor de servicio para inspeccionar los Servicios Web que ofrece. La segunda propuesta se incluye en la primera generación de Servicios Web. UDDI (UDDI, 2004) es un estándar de OASIS dedicado al descubrimiento de servicios a través del uso de un registro centralizado. Este registro incluye la información necesaria para localizar y consumir el servicio comportándose a modo de páginas amarillas, páginas blancas y páginas verdes (información técnica) y a diferencia de WSIL, desacopla por completo la dependencia entre el consumidor y el proveedor para la localización y descubrimiento de servicios. UDDI propone un enfoque donde el consumidor no necesita tener ningún conocimiento previo sobre el proveedor, el consumidor puede realizar una búsqueda genérica a través de un concepto abstracto o de negocio y, a partir de las entidades localizadas, obtener la información sobre los servicios que ofrece. Se trata de una propuesta apta para entornos de red públicos y no controlados,

aunque puede restringirse. Al basarse en un registro central facilita el control de seguridad y la gestión. La última propuesta es el estándar WS-Discovery (WS-Discovery, 2009) de OASIS orientada al descubrimiento de Servicios Web de forma dinámica en un entorno controlado, aunque mediante la configuración de proxys puede extender su entorno de acción. Se trata de un enfoque que combina características de los dos anteriores, a diferencia de UDDI y como WSIL no utiliza un registro central para el descubrimiento, pero como UDDI presenta un mecanismo de descubrimiento completamente desacoplado entre el consumidor y el proveedor.

Además, en este ámbito existe un estándar, no destinado directamente a resolver las cuestiones de localización y descubrimiento de servicios, pero que describe las necesidades para interactuar con un Servicio Web que se desea consumir. Se trata del estándar WS-MetadataExchange (WSMDE, 2009) del W3C. La recuperación de metadatos es tratada como un recurso y obtenida a través del estándar WS-Transfer (WS-Transfer, 2006) o también por otros estándares de recursos como el WS-ResourceFramework (WSRF, 2006) y mediante dichas peticiones estandariza la recuperación de los documentos descriptivos de los servicios que se desea consumir como su WSDL, la estructura XML-Schema del servicio o las políticas de comportamiento.

También el estándar WS-Policy del W3C (WSP, 2007) proporciona un marco general que permite la definición de las políticas de comportamiento del Servicio Web, incluyendo requerimientos y restricciones que un consumidor debe conocer antes de invocar un servicio. Sobre este marco de trabajo se pueden construir las políticas referentes a los diferentes dominios sobre los que se ha desarrollado las especificaciones y estándares WS-* como la seguridad o la entrega de mensajes.

Otro de los aspectos que se cubren con las especificaciones y estándares definidos en los Servicios Web de segunda generación es la notificación de eventos entre Servicios Web mediante mecanismos de comunicación asíncrona. Existen dos estándares

WS-* que abordan esta funcionalidad denominadas WS-Eventing (WSE, 2006) y WS-Notification (WSN, 2006). El estándar WS-Eventing es una propuesta publicada por el W3C que define un mecanismo de publicación/suscripción que permite la recepción de mensajes a los Servicios Web interesados cuando se produzca un evento en otro Servicio Web. Para lograr su objetivo establece una serie de mecanismos que posibilitan la gestión de suscripciones de Servicios Web a otros Servicios Web sobre los que le interesa tener información ante determinados comportamientos. El estándar WS-Notification es gestionado por OASIS y está formado por un conjunto de extensiones como son la especificación WS-BaseNotification (WSBN, 2006), WS-Topics (WSTO, 2006) y WS-BrokeredNotification (WSBN, 2006). Al igual que WS-Eventing, WS-Notification se basa en mecanismos de publicación/suscripción y en el paradigma MOM (*Message Oriented Middleware*). WS-BaseNotification ofrece las mismas funcionalidades que el estándar WS-Eventing descrito anteriormente. El estándar WS-Topics define un mecanismo para organizar y categorizar temas de interés conocidos como *topics* y como los proveedores u consumidores pueden ser asociados a estos *topics*. Esta especificación se sustenta sobre WS-BaseNotification. El estándar WS-BrokeredNotification establece un modelo que desacopla la notificación de eventos entre el proveedor y el consumidor introduciendo un elemento como intermediario en la comunicación responsable de gestionar las funcionalidades de publicación/suscripción. Se trata de una propuesta similar a la definida en el paradigma MOM. WS-BrokeredNotification se basa en las especificaciones WS-BaseNotification y WS-Topic.

La convivencia de ambas propuestas y su solapamiento de funcionalidades ha supuesto un problema de compatibilidad e interoperabilidad. IBM y otras grandes organizaciones se han unido al grupo de desarrollo de la especificación WS-Eventing sin abandonar su propia propuesta, lo que ha suscitado en el entorno la posibilidad de una estandarización y convergencia de varias especificaciones WS-* que abordan las mismas funcionalidades (Cline *et al.*, 2006), entre ellas existe una

propuesta de integración de los dos estándares de notificación mencionados y que se denomina WS-EventNotification pero que en la actualidad se encuentra en un estado de inactividad. Existe una propuesta de la Universidad de Indiana denominada WS-Messenger (Huang *et al.*, 2006) que soporta los dos enfoques anteriores logrando la convergencia entre ambas.

Como vimos anteriormente un aspecto importante que aporta el modelo SOA es la composición de servicios mediante los enfoques de coreografía y de orquestación. Estas técnicas permiten representar de forma sencilla procesos de negocio y su interacción en el ámbito de los Servicios Web.

Para el primer caso, la coreografía, existen diversos estándares dentro de los Servicios Web de segunda generación como el WSCI (*Web Service Choreography Interface*) (WSCI, 2002) o el WS-CDL (*Web Service Choreography Description Language*) (WS-CDL, 2005). La primera propuesta que surgió para resolver la coreografía de servicios fue WSCI recogida por el W3C. Se trata de un lenguaje de descripción de interfaces basado en XML que describe el flujo de intercambio de mensajes entre Servicios Web como iguales. Desde el grupo de trabajo *Web Service Choreography* del W3C se ha propuesto el estándar WS-CDL como sucesor del WSCI. El estándar WS-CDL permite la definición de procesos de negocio mediante el lenguaje XML describiendo protocolos de colaboración entre servicios bajo un enfoque de pares. A través de este estándar se describe la secuencia y condiciones bajo las cuales los mensajes son intercambiados entre procesos independientes, partes implicadas en el proceso u organizaciones con un objetivo determinado.

Para el segundo caso, la orquestación, los principales estándares WS-* son XPDL (*XML Process Definition Language*) (XPDL, 2001), BPML (*Business Process Modelling Language*) (BPML, 2001) y WS-BPEL (*Web Services Business Process Execution Language*) (WS-BPEL, 2007) aunque BPML es un predecesor de WS-BPEL.

XPDL es una especificación del organismo WfMC (*Workflow Management Coalition*) que permite definir a través del lenguaje

XML la representación gráfica de procesos de negocio lo que facilita, por un lado, su almacenamiento físico y por otro lado, el intercambio entre aplicaciones de modelado de procesos que utilizan diferentes formatos de representación gráfica. Inicialmente esta propuesta no fue pensada para expresar la ejecución de los procesos de negocio ni su orquestación, pero algunos autores la contemplan para tal fin.

La especificación BPML es una iniciativa del BPMI (*Business Process Management Initiative*) que permite la definición y ejecución de procesos de negocio. El lenguaje provee una semántica adecuada para representar el flujo de un proceso, transacciones y mecanismos de compensación de las mismas, reglas de negocio, planificación de eventos, etc. Aunque se trataba de una propuesta más completa que la del estándar WS-BPEL, actualmente se ha abandonado la iniciativa en favor de esta última.

El estándar WS-BPEL es un lenguaje de ejecución de OASIS que permite la definición de procesos de negocio mediante la composición de Servicios Web. De hecho, actualmente es el estándar de facto para la orquestación de Servicios Web. Define un modelo y una gramática para describir el comportamiento de un proceso de negocio basado en interacciones entre los procesos y sus socios. La interacción entre los participantes se realiza únicamente mediante interfaces de Servicios Web. La estructura de la relación a este nivel de interfaz es encapsulada a través de lo que se ha denominado un *PartnerLink*. El WS-BPEL define cómo realizar la interacción entre servicios y cómo coordinar esta interacción, tanto su flujo como el estado de la misma. Además, WS-BPEL permite definir los procesos de negocio desde dos puntos de vista. El primer enfoque, procesos de negocio ejecutables, modelan el comportamiento actual de un participante en una interacción. El segundo enfoque, procesos abstractos de negocio, describe procesos que especifican el intercambio de mensajes entre las partes implicadas sin revelar su comportamiento interno. Un proceso orquestado mediante WS-BPEL puede describirse como

un Servicio Web utilizando el lenguaje WSDL para ser invocado por un consumidor.

Existen dos vertientes relacionada con la gestión de la tecnología de Servicios Web. Por un lado, la evolución y el crecimiento de aplicaciones implementadas a través de Servicios Web ha propiciado la necesidad de gestionar y gobernar los mismos. Por otro lado, la capacidad de interoperabilidad e integración de los Servicios Web ha generado la posibilidad de gestión de recursos a través de esta tecnología. En este sentido existen dos estándares WS-* que permiten abordar los aspectos mencionados. El estándar WS-Management del DMTF (*Distributed Management Task Force*) (WS-Management, 2008) se centra en resolver la segunda de las cuestiones, la gestión de recursos a través del uso de Servicios Web. El segundo estándar, WSDM (*Web Services Distributed Management*) de OASIS (WSDM, 2006), aborda ambas cuestiones mediante las dos especificaciones que lo componen, MUWS (*Management Using Web Services*) y MOWS (*Management Of Web Services*). La primera propuesta, MUWS, se centra en la gestión de recursos a través de Servicios Web estableciéndose como el estándar que compite con WS-Management. La segunda propuesta, MOWS, se centra en la gestión y monitorización de los propios Servicios Web, en el control de las peticiones, su estado, la carga generada, etc. Al igual que en el caso de las especificaciones orientadas a notificación de eventos, se ha realizado un esfuerzo por establecer un propuesta que integre ambos enfoques (Cline *et al.*, 2006).

Una de las limitaciones de los Servicios Web ha sido, desde su creación, la falta de mantenimiento de su estado. Existen estándares y especificaciones WS-* que definen métodos para acceder a recursos persistentes a través de los Servicios Web y, así, establecer relaciones entre recursos con estado y Servicios Web, de esta forma se puede mantener el estado en los servicios. Actualmente existen dos estándares WS-* destinados a cubrir dicha funcionalidad: el estándar WS-ResourceFramework de OASIS (WSRF, 2006) y el estándar WS-Transfer del W3C (WS-Transfer, 2006).

La primera propuesta, el estándar WS-ResourceFramework, se compone de las especificaciones WS-Resource que define el concepto de *recurso WS*, estableciendo el mecanismo para asociar un recurso y un Servicio Web, la especificación WS-ResourceProperties describe una interfaz para asociar un conjunto de atributos y sus tipos con un *recurso WS* que puede leerse y manipularse de forma estándar, la especificación WS-ResourceLifeTime define un mecanismo para gestionar el ciclo de vida de un *recurso WS*, la especificación WS-BaseFaults define una extensión para errores y, por último, la especificación WS-ServiceGroup define una interfaz para trabajar con conjuntos de *recursos WS*.

La segunda propuesta, WS-Transfer, define un mecanismo para obtener información de estado de entidades, recursos, representada mediante XML y obtenida a través del uso de Servicios Web. Además, ofrece mecanismos, fábrica de recursos, para la creación y eliminación de estos recursos.

En el 2006 las compañías HP, IBM, Intel y Microsoft propusieron una especificación que, posteriormente, ha sido publicada desde el W3C (WSRT, 2008) con objetivo de unificar los dos enfoques anteriores (Cline *et al.*, 2006). La especificación define una ampliación de las operaciones definidas en WS-Transfer y la completa con las características más avanzadas de WS-ResourceFramework y se espera que sea el estándar de facto sobre el que se sustenten otras especificaciones como las relacionadas con la notificación o la gestión.

El elevado número de propuestas junto con sus características de modularidad e integración, así como la dependencia y solapamiento existente entre las mismas, ha propiciado el diseño de un amplio abanico de arquitecturas WS-* en función de los requerimientos y el dominio de aplicación. En concreto, existen dos estándares gestionados por el W3C y OASIS de arquitecturas y pilas de protocolos WS-*.

El DPWS (*Devices Profile for Web Services*) (DPWS, 2009) fue propuesto en el 2004 y estandarizado por OASIS en el 2008. Se

trata de una propuesta de pila WS-* con el mismo objetivo y funcionalidad que el estándar UPnP (*Universal Plug and Play*) (UPnP, 2008) orientado a dispositivos con restricción de recursos computacionales. La propuesta incluye el intercambio de mensajes con seguridad entre dispositivos mediante Servicios Web con las funcionalidades de descubrimiento, descripción y notificación de eventos.

En (W3C, 2002), el W3C propone una arquitectura conceptual de Servicios Web que identifica los componentes funcionales, define la relación entre ellos y establece un conjunto de restricciones tecnológicas que permitan abordar la funcionalidad definida en dicha arquitectura. A diferencia del caso anterior esta propuesta no está dirigida a dispositivos con restricciones de recursos computacionales. Se trata de un marco de referencia para la implementación de arquitecturas sobre WS-*.

Además, algunas de las organizaciones empresariales más importantes en el entorno TI han implementado su propia arquitectura de Servicios Web como la propuesta WSCA de IBM (Kreger, 2001), la de la organización Webservice.org, Microsoft, Stencil Group, Oracle, Borland, BEA, HP o SUN recogidas en el informe técnico (Myerson, 2002).

Integración de los Elementos de Producción con los Niveles Superiores de la Organización

En este apartado se repasan las principales propuestas y trabajos de investigación relacionados directamente con la introducción de las TIC en los elementos de producción con el objetivo de integrar los procesos de fabricación con los sistemas de gestión e-Business de la organización.

La llegada de Internet ha influido notablemente en la adopción de nuevas estrategias por parte de las organizaciones actuales para

adaptar sus procesos, reingeniería de procesos (Harmon *et al.*, 2001), así como la incorporación de paradigmas empresariales basados en servicios y componentes software distribuidos, desplegados sobre arquitecturas de n-niveles que las ayuden a implantar nuevos modelos de negocio y a obtener provecho del nuevo modelo de competencia creado (Maciá *et al.*, 2005).

Sin embargo, debido a limitaciones físicas y tecnológicas, los procesos de fabricación no han alcanzado el nivel de integración y automatización deseable, teniendo que ser, en la mayor parte de los casos, considerados como sistemas heredados.

Las primeras propuestas de integración se centraban en modelos tradicionales de automatismos, basados en protocolos propietarios, situados en el nivel de recursos del modelo e-Business, como sistemas externos a los procesos de negocio (Modbus, Profibus, AS-I, FIPIO, DeviceNET, Interbus o Ethernet industrial). Estas propuestas constituyen los primeros intentos por facilitar su integración con los componentes de negocio mediante adaptadores ad-hoc (Moreno, 2004).

En otros casos, como el propuesto por Schneider (Transparent Factory, 2001), se opta por la incorporación de dispositivos embebidos en los dispositivos de control o PLCs (con conexión Ethernet, soporte TCP/IP e incluso servidor Web integrado) bajo conceptos como *transparent factory*. *Transparent factory* define una arquitectura de automatización abierta basada en las tecnologías de Internet que proporciona una comunicación transparente entre el nivel de planta y los sistemas de gestión empresarial y permite el control de la fabricación desde cualquier parte del mundo.

Otros fabricantes, como ABB en (Topp & Müller, 2002), proponen resolver la heterogeneidad en la comunicación con los dispositivos de campo, como sensores y actuadores implicados en los procesos, y proponen incorporar las tecnologías de Internet dotando de inteligencia, autogestión y proactividad a sus dispositivos de control de los dispositivos de campo. La propuesta se centra en dos enfoques, uno orientado a un modelo B2C

mediante la generación de páginas Web dinámicas y el otro, hacia un modelo B2B mediante el uso de SOAP, ambas propuestas utilizando el estándar TCP/IP.

Siguiendo esta misma línea, en (Kalogeras *et al.*, 2006) se propone el uso de los Servicios Web como medio normalizado para acceder a las funcionalidades de los dispositivos y para que éstos se integren con los sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP). En este trabajo se propone una arquitectura que utiliza la tecnología de Servicios Web como mecanismos de comunicación de los elementos de producción y se introduce el concepto de *Workflow* para la composición de los servicios mediante un motor de orquestación y el uso de ontologías que incluyan la información semántica del flujo del proceso que asocia cada una de las actividades del *Workflow* con el servicio Web que expone dicha actividad. El objetivo perseguido en la propuesta es que la ontología desacople el flujo del proceso de los Servicios Web necesarios para su ejecución ofreciendo dinamismo ante los cambios que se producen en el entorno.

En (Mathes *et al.*, 2009), se refuerza el uso del paradigma SOA basado en Servicios Web para lograra la integración entre los elementos de producción y los sistemas de gestión de empresa incrementando la interoperabilidad y la flexibilidad de dichos elementos. Se hace hincapié en las diferencias de plataformas software/hardware que impide dicha integración. Como resultado en la propuesta se describe el primer motor SOAP para PLCs como base para la introducción de servicios Web en el entorno de manufacturación.

En el marco de proyectos europeos de investigación, concretamente dentro de la iniciativa ITEA, se encuentran importantes propuestas que avalan el interés de esta línea, con importantes resultados que avanzan hacia SOA y dispositivos embebidos en la maquinaria industrial como tecnologías válidas (SIRENA, 2003) (SODA, 2006) (SOCRADES, 2006).

En (SIRENA, 2003) el objetivo se ha centrado en la propuesta de una arquitectura para la especificación y desarrollo de

aplicaciones distribuidas en sistemas embebidos de tiempo real, tal como los usados en la automatización industrial o en el sector de la automoción. Para ello, en (Jammes & Smit, 2005) los autores proponen una arquitectura SOA basada en el perfil para dispositivos de la pila WS-* (DPWS, 2009) que incluye las mismas funcionalidades que el estándar UPnP (UPnP, 2008). En este mismo proyecto, se propone la incorporación a la arquitectura del dispositivo el concepto de composición de servicios mediante orquestación y coreografía (Jammes *et al.*, 2005). No obstante, en el trabajo se considera que la limitación en los recursos de los dispositivos embebidos en ese momento hace inviable la propuesta, manteniendo las funcionalidades comentadas en los servidores ubicados en el nivel de empresa.

El proyecto SODA (SODA, 2006) nace con el objetivo de crear un ecosistema de dispositivos orientados a servicios sobre el proyecto SIRENA centrándose en obtener una arquitectura centrada en los aspectos de comunicación y calidad de servicio de dichos dispositivos. Uno de los resultados del proyecto se recoge en (Martínez *et al.*, 2008) donde se extiende la arquitectura del proyecto SIRENA con los aspectos necesario para garantizar la seguridad en las comunicaciones con los dispositivos como la integridad, confiabilidad y autenticación entre otros.

El proyecto SOCRADES (SOCRADES, 2006) es otra de las propuestas que parte desde el proyecto europeo SIRENA. Su objetivo principal era el desarrollo de una plataforma que contemplase el diseño, ejecución y gestión para todas estas generaciones de sistemas de automatización industrial enfocada hacia el modelo SOA. Para ello se propone una arquitectura middleware que permita integrar los dispositivos de producción con el sistema de gestión desarrollado. Algunos de los resultados más importantes del proyecto pueden verse en (Karnouskos *et al.*, 2007), (Lobov *et al.*, 2008), (Moreira *et al.*, 2008) y (Kirkham *et al.*, 2008). La propuesta realizada sigue manteniendo la gestión de los procesos en el nivel de empresa utilizando únicamente los Servicios Web como mecanismo de integración para la comunicación con los dispositivos.

Como conclusión de este apartado se extrae que los cambios en los futuros métodos de fabricación tienden a paradigmas distribuidos, con acoplamiento débil y autónomo e implican un incremento de la complejidad y la necesidad de responder al continuo cambio bajo una paulatina disminución de los costes. Para afrontar estos cambios se requiere funcionalidades adicionales como: robustez, escalabilidad o reconfiguración, mientras se mantienen procesos simples y transparentes. Estas características justifican y avalan la propuesta realizada en el trabajo de investigación.

No obstante, también se extrae las carencias de las propuestas realizadas que se intentan resolver en el presente documento. La mayoría de las propuestas mostradas se centran en los dispositivos de control sin resolver el problema de integración a nivel de proceso. Por otro lado, las propuestas que sí se centran en la integración de todos los niveles de las organizaciones manufactureras resuelven las restricciones tecnológicas pero no abordan las conceptuales. Además, los dispositivos presentados no ofrecen una autonomía total que permitiría un mayor desacoplamiento y flexibilidad en las propuestas.

Requerimientos de los Nuevos Modelos de Producción

En esta sección se ha realizado un estudio a partir del cual se deben extraer los principales requerimientos y tendencias hacia los que están evolucionando los sistemas de producción. Las principales conclusiones de este análisis servirán de guía para la propuesta realizada en el presente trabajo.

Actualmente, las organizaciones tienden hacia nuevos modelos de negocio y producción que implican estrategias innovadoras que les permitirán posicionarse frente a la competencia. Ejemplos de estos modelos son: la fabricación flexible, la personalización masiva o la producción ajustada (Ribeiro *et al.*, 2008). Con todo

esto, se hace patente la necesidad de sistemas con gran flexibilidad para adaptarse a los cambios del entorno y que habiliten la integración con los elementos existentes de la organización para lograr una gestión global (Avella & Vázquez, 2005).

En este sentido, el modelo de producción de fabricación ágil es el que mejor se adapta a los nuevos requisitos derivados, en gran parte, de la evolución de Internet y de las TIC (Avella & Vázquez, 2005). La fabricación ágil se puede definir como un modelo de producción que integra la tecnología, los recursos humanos y la organización a través de las TIC, que otorga flexibilidad, rapidez, calidad y eficiencia y permite responder de forma deliberada, efectiva y coordinada ante cambios en el entorno.

Existen diversos autores que han propuesto enfoques muy diferentes en este ámbito, como la utilización de sistemas de control inteligentes (Brennan *et al.*, 2002), las ventajas de las tecnologías de agentes (Giret *et al.*, 2005) o los efectos derivados de la evolución de las TIC (McFarlane & Bussmann, 2000), que evidencian el gran interés de la comunidad científica por estos temas. Para poder abordar los cambios con garantías, están emergiendo nuevos modelos de producción cuyos principales requerimientos se centran en lograr sistemas robustos, escalables o reconfigurables, manteniendo procesos simples y transparentes. Los sistemas flexibles juegan un papel fundamental en estos modelos.

La flexibilidad es una característica que debe cumplirse en diferentes ámbitos dentro de una organización manufacturera. Podemos encontrar flexibilidad de: maquinaria, producción, mezcla, rango de producto, volúmenes de producción, entrega, enrutado, expansión y respuesta (Slack, 2005). El común denominador en este tipo de enfoques es la necesidad de modelos que aportan adaptabilidad, agilidad, capacidad de integración, dinamismo, tolerancia a fallos, continuidad del negocio y escalabilidad.

Por otro lado, un aspecto importante a tener en cuenta en la presente investigación es que los requerimientos de estos modelos tienen una enorme repercusión sobre los elementos ubicados en los niveles inferiores de producción (Ribeiro *et al.*, 2008) que, también, deben adaptarse rápidamente a los continuos cambios introducidos en la organización. En la actualidad la mayoría de los enfoques de automatización y control industrial abogan por el uso de inteligencia distribuida para maximizar la agilidad y flexibilidad de los sistemas: *Bionic Manufacturing Systems* (Ueda, 1992), *Reconfigurable Manufacturing Systems* (Koren *et al.*, 1999) (Mehrabi *et al.*, 2000), *Holonic Manufacturing Systems* (Babiceanu & Chen, 2006) (Bussmann & McFarlane, 1999) (Gou *et al.*, 1998) (Van Brussel *et al.*, 1998), *Balanced Automation systems* (Barata *et al.*, 2006) (Frei *et al.*, 2007a) (Onori *et al.*, 2006), *Evolvable Production Systems* (Barata *et al.*, 2007a) (Barata *et al.*, 2007b) (Frei *et al.*, 2007a).

Además, en este sentido existen propuestas como la de (Ribeiro *et al.*, 2008) que aboga por el uso de sistemas MAS (*MultiAgent Systems*) junto con el paradigma SOA en los dispositivos de producción como solución adecuada para afrontar los requerimientos de los nuevos modelos de producción en el ámbito de la fabricación y automatización industrial. De esta forma se dota a estos dispositivos de mayor autonomía, proactividad, adaptabilidad, flexibilidad e interoperabilidad.

En esta misma línea, en (Villaseñor *et al.*, 2008) se presenta una combinación del binomio MAS-Servicios Web que, aprovechando las características mencionadas anteriormente, propone un sistema de control distribuido que automatice la reconfiguración en sistemas de fabricación legando parte de la funcionalidad del sistema a los dispositivos de fabricación.

Otros, como (Bussman, 2004) y (Marik & McFarlane, 2005), abordan el problema a través del uso de sistemas inteligentes distribuidos frente a los centralizados, donde los MAS pueden proporcionar mayores ventajas sin la utilización de las tecnologías de Servicios Web.

En (Zhou *et al.*, 2009), se aborda la necesidad de sistemas inteligentes de fabricación capaces de diagnosticar y prevenir situaciones no deseadas como paradas de máquinas o la degradación de su rendimiento. Abogan por la necesidad de introducir inteligencia en los niveles inferiores de producción dotando a estos de proactividad. En concreto se propone un sistema de monitorización que asegure el correcto funcionamiento de los dispositivos de producción.

Propuestas como la de (Barata *et al.*, 2007c) indican que gran parte de los métodos de diagnosis de sistemas pueden ser trasladados a nivel de dispositivo dotándoles de mayor inteligencia. De esta forma cada elemento deberá ser capaz de auto-monitorizarse, auto-diagnosticarse y auto-recuperarse. Como indica, estas auto-capacidades permitirán que el sistema reaccione automáticamente ante problemas inesperados y ante los cambios derivados del entorno.

En (McFarlane & Bussmann, 2000) y (Lee *et al.*, 2004) se presentan dos propuestas de sistemas distribuidos de control y planificación de la producción con un enfoque *holónico* que sugiere el traslado de las capacidades de decisión, control y supervisión a nivel local. Además, indican la necesidad del comportamiento proactivo y reactivo, capacidad auto-organizativa, flexibilidad de cada componente a la vez que se estructuran mediante una arquitectura distribuida que conforma el sistema global.

Finalmente, existen propuestas como las de (Carnero, 2005) y (García-Fernández *et al.*, 2002) que pretenden evitar paradas inesperadas del sistema de producción utilizando para ello técnicas de mantenimiento predictivas.

De este estudio se puede concluir, de cara a la propuesta del presente trabajo, que la gestión de la producción en entornos físicamente distribuidos implica la necesidad de tomar decisiones a nivel local, por lo que es necesario trasladar parte de la lógica de control y supervisión a la maquinaria industrial. Además, se deben proponer modelos flexibles y escalables cuya gestión

debería ser autónoma y auto-organizativa, estableciendo un comportamiento reactivo y proactivo para responder tanto a perturbaciones e inesperados cambios a corto plazo como para ser capaz de anticiparse y prepararse para situaciones críticas, estableciendo políticas de mantenimiento preventivo y predictivo de la maquinaria o de control de la calidad del proceso.



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Capítulo 3

Marco Formal y Propuesta General de la Metodología

El objetivo principal de la investigación se puede resumir en proponer un modelo de maquinaria industrial que permita ofrecerla a los niveles superiores de la organización como un conjunto de procesos de negocio, trivializando así el problema de integración de los entre el nivel de empresa y los niveles de producción.

Para desarrollar este objetivo, y con el ánimo de realizar propuestas válidas que cubran el mayor ámbito posible, se propone como un segundo objetivo crear en primer lugar una metodología que recoja y sistematice el modelado de la maquinaria industrial.

Es justamente ese el objetivo que se cubre en este capítulo, es decir, el desarrollo de una metodología que permite, de forma sistemática, la integración de la maquinaria industrial dentro del mapa general de procesos de la organización, eliminando las restricciones existentes entre los procesos de fabricación y los de negocio con el fin de hacer viables los requerimientos de los nuevos modelos de negocio en las organizaciones manufactureras.

Así pues, el capítulo comienza con un breve resumen de las herramientas empleadas para la formalización de la metodología que fundamentalmente se basa en una extensión de UML (*Unified Modelling Language*) especialmente concebida para representar procesos que se conoce como *Eriksson-Penker* (Eriksson & Penker, 2000). A continuación, se describe el marco general donde se ubica la propuesta lo que permite contextualizarla dentro del ámbito, mucho más ambicioso, de la normalización de la gestión de los procesos en el que se ven involucrados multitud de aspectos y disciplinas transversales y, gracias precisamente a esta contextualización, se puede abordar uno de estos aspectos —la normalización de la maquinaria industrial— por separado, permitiendo que nos podamos concentrar en estudiar y hacer propuestas sobre cómo las TI pueden y deben organizarse para lograr este objetivo.

A partir de la visión general, se propone una instancia de la metodología para abordar la gestión de procesos en las organizaciones manufactureras, contemplando la problemática actual analizada en los capítulos previos. Una vez establecido el contexto general de la metodología, se desarrolla el verdadero objetivo de este capítulo, proponiendo la metodología general para la normalización de la maquinaria industrial de forma que se definen las fases de la metodología que son tratadas en la tesis para lograr el objetivo principal de la investigación, la integración de los procesos de fabricación en el mapa general de procesos. Estas fases serán desarrolladas con profundidad en los capítulos siguientes.

La principal aportación de este capítulo es la propuesta de una metodología para la creación sistemática de un sistema ágil de gestión de procesos en las organizaciones manufactureras que contemple la integración de los procesos de fabricación en el mapa general de procesos de la organización. Debido al carácter transversal de los ámbitos de estudio que se tratan en el presente trabajo de investigación, existen aportaciones secundarias que posibilitan una línea de continuidad en la investigación en el campo de la gestión empresarial. Se trata de la propuesta de una

metodología general para la consecución de modelos de gestión empresarial estratégicos de forma sistemática.

Nomenclatura para la Representación Formal de la Propuesta

A lo largo de la presente tesis se va a utilizar la nomenclatura de Eriksson-Penker (Eriksson & Penker, 2000) para la representación formal de la propuesta. Se trata de una extensión de lenguaje de modelado UML para la descripción de procesos de negocio, que junto con el lenguaje de restricciones OCL (*Object Constraint Language*), permite expresar de forma gráfica y sin ambigüedades relaciones muy complejas de manera formal facilitando la comprensión desde un punto de vista tecnológico y del negocio.

Para seguir con facilidad el resto del capítulo se hace una breve descripción de la sintaxis de la nomenclatura para el modelado de procesos.

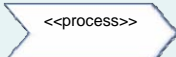
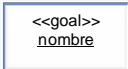
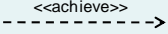
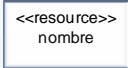
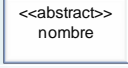
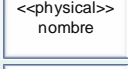
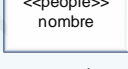
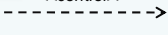
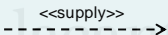
Un proceso, como se vio en el estado del arte representa un conjunto de actividades relacionadas entre sí que producen o transforman uno o varios elementos de entrada en un resultado a partir de la definición de una serie de objetivos y mediante el uso de recursos que participan en el proceso pero no son transformados.

Para representar los procesos de negocio, la nomenclatura de Eriksson-Penker utiliza lo que han denominado *Diagramas de Proceso*. Los *Diagramas de Procesos* son diagramas de actividad UML con una serie de objetos y estereotipos específicos que permiten reflejar gráficamente los procesos de negocio, las actividades que lo conforman, los recursos utilizados, los elementos de entrada y salida y los objetivos a alcanzar.

Un objeto de tipo proceso es una actividad marcada con el estereotipo <<*process*>>. Su representación grafica se puede ver en la tabla 3-1.

Los objetos de tipo recurso y objetivo implicados en el proceso son ubicados alrededor del objeto proceso descrito anteriormente.

Tabla 3-1. Principales elementos de la notación Eriksson-Penker.

Nombre de Objeto	Estereotipo	Representación
Proceso	<<process>>	
Objetivo	<<goal>>	
Relación de objetivo	<<achieve>>	
Recurso	<<resource>>	
Recurso abstracto	<<abstract>>	
Recurso físico	<<physical>>	
Persona	<<people>>	
Relación de control de proceso	<<control>>	
Relación de suministro de proceso	<<supply>>	

Los objetos de tipo objetivo (*goal objects*) definen los objetivos a alcanzar por el proceso. Gráficamente son representados por un rectángulo dibujado encima del proceso y unidos a éste a través de una relación de dependencia con el estereotipo <<achieve>>.

Los objetos de tipo recurso (*resource objects*) son elementos utilizados durante la ejecución del proceso para lograr su objetivo. Estos elementos pueden ser consumidos, producidos, usados o refinados durante la ejecución del proceso. Los recursos pueden ser de tipo abstracto (estereotipo <<abstract>>) o físico (estereotipo <<physical>>) y representar información, cosas tangibles o personas (figura 3-1). Los principales tipos de objetos de recursos son los objetos de entrada (*input objects*), los objetos

de salida (*output objects*), los objetos de suministro (*supplier objects*) y los objetos de control (*control objects*).

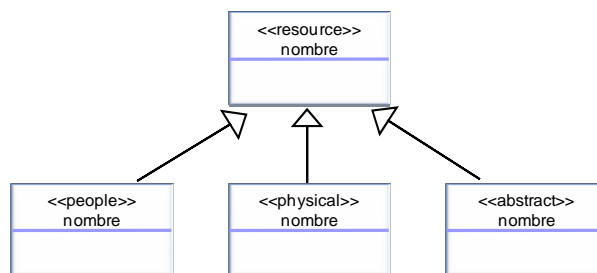


Figura 3-1. Principales tipos de recursos.

Los objetos de entrada son consumidos o refinados por el proceso. Pueden ser marcados con cualquiera de los estereotipos de los objetos de recurso como <<physical>>, <<abstract>>, <<people>> o <<information>> dependiendo de la naturaleza de la entrada. Gráficamente son situados a la izquierda del objeto de proceso y se conecta a éste a través de una flecha discontinua que representa la dirección del flujo.

Los objetos de salida son producidos por el proceso u obtenidos a partir del refinamiento de los objetos de entrada. Al igual que los objetos de entrada son objetos de recurso y pueden ser marcados con cualquiera de los estereotipos de los objetos de recurso como <<physical>>, <<abstract>>, <<people>> o <<information>> dependiendo de la naturaleza de la salida. Gráficamente son situados a la derecha del objeto de proceso y éste se conecta al objeto de salida a través de una flecha discontinua que representa la dirección del flujo.

Los objetos de suministro son aquellos elementos que participan en el proceso pero no son consumidos ni transformados. Estos objetos son dibujados debajo del objeto de proceso y enlazados a éste a través de una flecha discontinua con dirección de inicio en el objeto de suministro y final en el objeto proceso. El estereotipo de la relación es <<supply>>.

Por último, los objetos de control son recursos que controlan y conducen la ejecución del proceso para evitar desviaciones de los

objetivos definidos. Estos elementos son ubicados gráficamente encima del objeto de proceso y se unen a éste de la misma forma que los objetos de suministro. El estereotipo de la relación es <<control>>. En la figura 3-2 se muestra un ejemplo gráfico de los conceptos relacionados anteriormente.

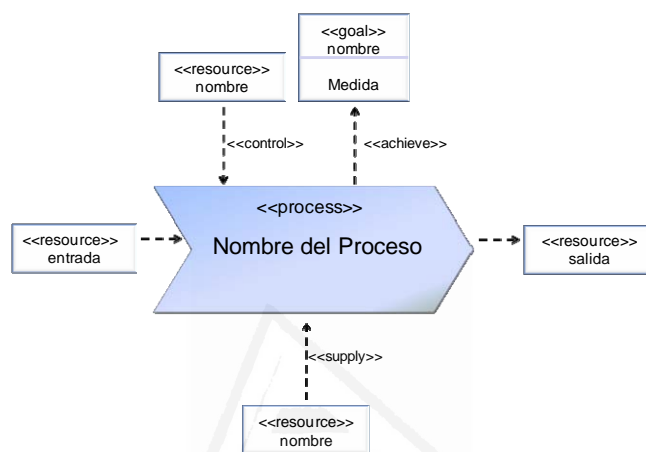


Figura 3-2. Diagrama genérico de procesos mediante notación de Eriksson-Penker.

Marco General de la Propuesta

Durante las dos últimas décadas las organizaciones empresariales han tomado conciencia de forma general de la importancia de los enfoques centrados en la gestión de procesos frente a otro tipo de modelos de gestión. Aunque esta postura es relativamente reciente, desde la aparición de las teorías modernas de gestión de la calidad o la reingeniería de procesos, el origen de la gestión de procesos data de propuestas como la realizada por Smith en 1776 o las de Taylor y Ford a principios del siglo XX (Chang, 2005).

La esencia de dichas propuestas se centra en el estudio y análisis de las actividades de la organización de forma que se obtenga un profundo conocimiento y comprensión de su funcionamiento y, a partir de esta información, establecer mejoras continuas para

alcanzar los objetivos estratégicos y lograr una mayor eficiencia en la forma de realizar el negocio.

Los sistemas de gestión de procesos (SGP) establecen las metodologías y mecanismos necesarios para alcanzar los objetivos estratégicos, ofreciendo múltiples beneficios a la organización:

- Mejorar la coordinación departamental.
- Reforzar la organización.
- Minimizar errores.
- Reducir costes.
- Optimizar procesos.
- Sistematizar la forma de trabajo.
- Mejorar la eficiencia.
- Posicionamiento estratégico frente a la competencia.

Las tecnologías de la información se han presentado como el mejor aliado para los sistemas de gestión de procesos (Hammer & Champy, 1993) (Davenport, 1993) (Smith & Fingar, 2002) (Harmon, 2003). Con la introducción de las TI, los sistemas de gestión de procesos han logrado aumentar de forma considerablemente los beneficios de los enfoques de gestión de procesos (Chang, 2005) (Burlton, 2001):

- Aumentar la eficiencia.
- Mejorar las ganancias en la coordinación.
- Información de los procesos en tiempo real en aspectos como la medición, monitorización, el control y el análisis de los procesos.
- Automatizar la ejecución de los procesos.
- Continuidad en el negocio y en la ejecución de los procesos.

- Mayor integración con clientes, proveedores y recursos internos.

En este sentido, las teorías modernas de gestión de procesos de negocio tratan de resolver la problemática surgida para la gestión de los nuevos modelos de negocio contemplando las TI como una herramienta indispensable (Smith & Fingar, 2002).

Modelo de factores de influencia de un SGP

La metodología que se presenta en esta sección se centra en establecer un mecanismo que permita de forma sistemática definir y diseñar sistemas de gestión de procesos basados en las TI, y que posicione a la organización en un lugar estratégico frente a sus competidores. Para ello se han identificado aquellos factores que influyen de forma determinante en la especificación de un sistema de gestión de procesos y se ha propuesto un modelo simplificado (figura 3-3).



Figura 3-3. Modelo de factores de influencia determinantes en la definición del SGP.

El elemento central de este modelo es el propio sistema de gestión que conceptualmente representa por un lado, los sistemas de gestión de procesos vigentes en las organizaciones, de los cuales se podrían partir y que influyen de forma directa en la especificación del nuevo sistema, y por otro lado, el propio sistema que se obtendrá como resultado. Este factor implica una retroalimentación en la definición del sistema de gestión de procesos.

Los continuos cambios que surgen en el entorno y los requerimientos del mercado afectan de forma directa a los objetivos estratégicos de las organizaciones (Porter, 1996) (Harmon *et al.*, 2001) e influyen directamente en los objetivos que deben ser alcanzados por el sistema de gestión (Harmon, 2003). Cualquier cambio en la forma de comportarse de los clientes o en el entorno de competencia implica cambios en los objetivos estratégicos y en cómo gestionar los mismos.

Los requerimientos de los modelos de producción y negocio influyen directamente en los objetivos estratégicos de la organización (Smith & Fingar, 2002) (Youngwan *et al.*, 2005) (Avella & Vázquez, 2005). Los SGP definen como llevar a cabo los procesos de negocio para alcanzar los objetivos estratégicos definidos en la organización (Rinderle *et al.*, 2006), por lo que el modelo elegido repercute en la forma de gestionar las organizaciones y, por tanto, en sus sistemas de gestión de procesos (Smith & Fingar, 2002) (Chang, 2005) (Harmon, 2003). Por lo tanto, este factor de influencia afectará a los objetivos del SGP y también servirá de guía durante su diseño, evitando posibles desviaciones de los fundamentos de los modelos utilizados.

Un factor muy importante en la especificación de un sistema de gestión son las teorías de gestión de procesos (Harmon, 2003) (Smith & Fingar, 2002) (Jeston & Neils, 2006). Dichas teorías se sustentan sobre los mismos principios pero tienen también objetivos y fundamentos muy distintos determinados en función de los requerimientos del entorno y de la demanda del mercado. Habrá una serie de teorías de gestión de procesos más adecuadas

en cada momento para la definición del sistema y obviamente el sistema deberá contemplar sus metodologías, etapas y demás características.

Las tecnologías de la información son otro de los factores fundamentales en la definición del SGP (Smith & Fingar, 2002) (Harmon, 2005). Como soporte de los SGP para alcanzar todos los beneficios que se comentaron anteriormente. Una buena decisión en la elección de las tecnologías, las que mejor se adapten a los fundamentos de las teorías de gestión de procesos, puede hacer que el SGP sea un factor determinante en el posicionamiento de la organización en el mercado con respecto a la competencia (Harmon, 2005).

Los procesos serán gestionados por el SGP pero estos pueden llevarse a cabo por diferentes actores y recursos en una determinada organización. Un factor clave que influye en la definición de un SGP es la forma en que interactuará con dichos elementos y como éstos se integran con el SGP.

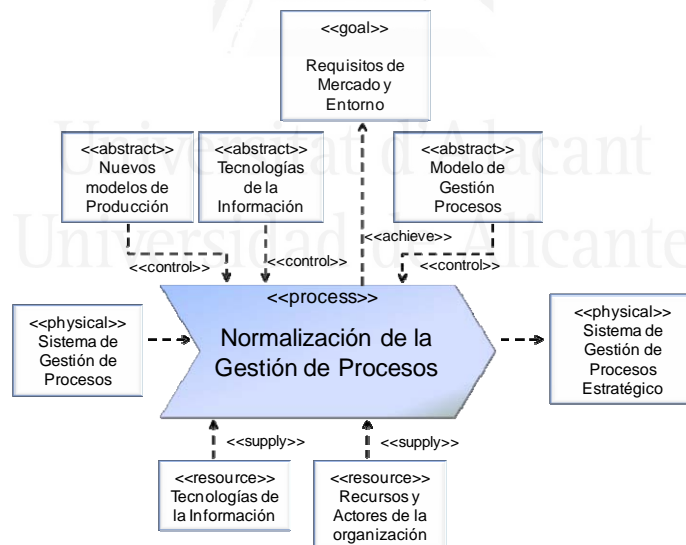


Figura 3-4. Proceso de especificación y diseño de un SGP estratégico.

Los continuos cambios en el entorno y el mercado hacen que los objetivos estratégicos de las organizaciones y la forma de llevar a cabo sus negocios se encuentren en continua evolución. Esto

implica la necesidad de modificar y adaptar constantemente los sistemas de gestión de procesos para alinear su forma de gestionar el negocio con dichos objetivos estratégicos (Harmon, 2003) (Avella & Vázquez, 2005) (Younghwan *et al.*, 2005). El *proceso de normalización de la gestión de procesos* tiene como objetivo adaptar los SGPs a los cambios introducidos mediante la información obtenida de los factores de influencia descritos anteriormente (figura 3-4).

Metodología para la Creación de un SGP

A partir del análisis de los factores de influencia descritos anteriormente y cómo éstos impactan en la especificación y en el diseño de un SGP, se ha definido una metodología que permita de forma sistemática abordar el *proceso de normalización de la gestión de procesos*. La metodología se compone de 4 fases (figura 3-6): la fase de identificación de objetivos, la fase de análisis del sector empresarial e industrial, la fase de análisis de los conductores del proceso y la fase de normalización de la gestión de procesos.

En la primera fase, la fase de identificación de objetivos, se realiza un análisis del entorno de competencia actual, las necesidades del mercado, incluyendo las impulsadas por los clientes y por las tendencias de la industria, la forma de relacionarse con los proveedores y los fundamentos y base de los modelos de producción y negocio emergentes. El objetivo final de esta fase es obtener los objetivos sobre los cuales se fundamentará el SGP. Para lograrlo, esta fase se centra en dos de los factores de influencia definidos anteriormente: mercado y entorno y modelos de producción.

Durante la segunda fase se debe estudiar los diversos sectores empresariales e industriales para analizar las actuales propuestas de los SGP que se están utilizando, comparar sus objetivos iniciales con los obtenidos en la fase anterior, qué recursos y actores participan en la ejecución de los procesos y cómo estos se integran e interactúan con los SPG. En esta fase es

fundamental el impacto del factor de influencia recursos y actores y el factor central, sistemas de gestión de procesos.



Figura 3-5. Metodología de especificación y diseño de un SGP.

En la tercera fase se analizan los factores de influencia: modelos de producción, teorías de gestión de procesos y tecnologías de la información. De este análisis se obtiene tanto los controladores del proceso, cuya misión es la de guiar el proceso de normalización evitando desviarse de los objetivos definidos, como los suministradores del proceso, los cuales permiten llevar a cabo las etapas de la cuarta fase.

Finalmente, en la cuarta fase, el análisis de los modelos de negocio y producción permite obtener los modelos que mejor se adaptan a los objetivos establecidos y que guiarán el proceso. En esta fase es muy importante la elección de las tecnologías de la información adecuadas para sustentar el SGP, los paradigmas y metodologías que mejor se adapten a los objetivos y guíen el proceso sin desviarse de éstos.

Las etapas necesarias de implementación e integración se llevan a cabo en la última fase a partir de los datos obtenidos en las tres fases anteriores.

El resultado obtenido a partir de la aplicación de la metodología se puede observar en el proceso general mostrado anteriormente en la figura 3-5. El proceso refleja la cuarta fase de la metodología. Los objetivos a alcanzar por el proceso son obtenidos tras la aplicación de la primera fase de la metodología. El proceso recibe como entrada uno de los SGP vigentes en los sectores analizados en la segunda fase, el proceso por medio de los controladores y de los elementos suministradores devuelve como resultado el SGP estratégico alineado con los objetivos definidos. Los controladores del proceso son obtenidos a través de la aplicación de la tercera fase.

Aplicación de la Metodología al Entorno de Fabricación

En la sección anterior se ha descrito el marco general de la tesis obteniendo una metodología que permita llevar a cabo lo que se ha denominado como *proceso de normalización de la gestión de procesos* y de esta forma obtener un SGP estratégico. El ámbito del trabajo en el que se ubica la presente tesis, como se definió en el capítulo 1, se centra en las organizaciones manufactureras, concretamente, en los sistemas de gestión de procesos aplicados a la manufacturación y la problemática subyacente. En esta sección se lleva a cabo la aplicación de la metodología expuesta anteriormente al sector manufacturero (figura 3-6).

En la primera fase se deben identificar los objetivos que debe alcanzar el SGP estratégico conforme a los requerimientos del mercado y su entorno. Como se describió en el primer capítulo del presente trabajo, los nuevos modelos de negocio y producción están fundamentados en el cambio continuo del entorno y esto repercute en los objetivos estratégicos de la organización y en el

aumento de complejidad de la gestión del negocio. Estos nuevos enfoques de paradigmas de negocio exigen a las organizaciones modelos de gestión ágil, dinámica y flexible que permitan alinear de manera casi inmediata los cambios que se han producido en los objetivos estratégicos con los procesos de negocio y la tecnología que sustenta dichos procesos (Smith & Fingar, 2002) (Chang, 2005).

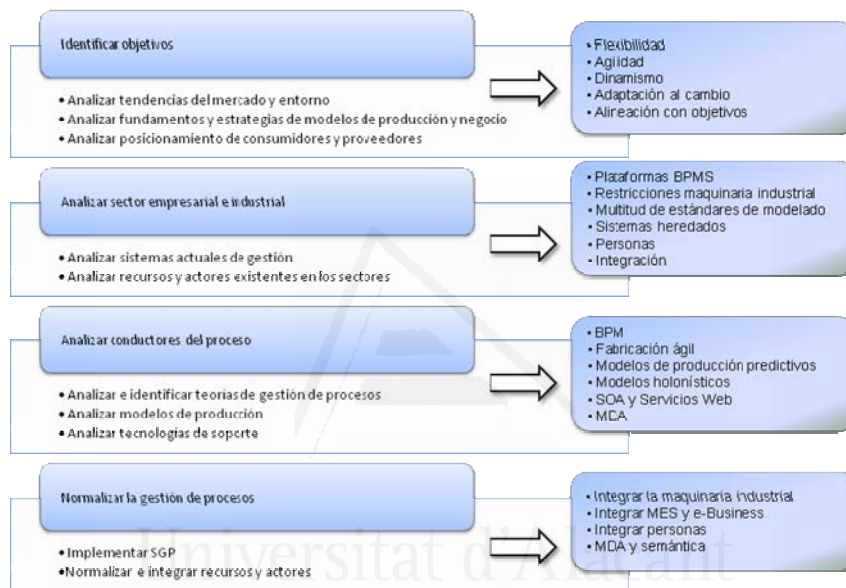


Figura 3-6. Instanciación de la metodología para la definición de un SGP aplicada al entorno manufacturero.

El objetivo de la fase 2 consiste en localizar las carencias y necesidades de los SGP actuales en comparación con los requisitos demandados en el entorno para los SGP ágiles. Para ello se puede partir de aquellos SGP que mejor se adapten a los requerimientos propuestos para la obtención del SGP estratégico resultante del proceso e identificar aquellos cambios necesarios para adecuarlo a los nuevos objetivos. En este sentido, los sistemas de gestión que mejor se adaptan actualmente a los requerimientos obtenidos en el análisis llevado a cabo en la fase uno son los sistemas de gestión de procesos de negocio (BPMS) (Smith & Fingar, 2002) (Chang, 2005). Estos sistemas podrían

tomarse como partida en el proceso de normalización de gestión de procesos (elemento de entrada de la figura 3-4).

Como se describió en el primer capítulo del presente trabajo, sin embargo, existe un desaprovechamiento de las TIC en las organizaciones manufactureras que dificulta la consecución de sistemas de gestión de negocio conforme a los requerimientos de los nuevos modelos de negocio en general y de producción en particular. Las restricciones físicas y tecnológicas existentes entre el nivel de gestión y los elementos ubicados en los niveles inferiores de producción hace que se imposible cumplir los requerimientos definidos por los nuevos modelos de negocio a partir de los BPMS. Como resultado se hace patente la necesidad de integrar la maquinaria industrial en el SGP para lograr una continuidad en el negocio (SIRENA, 2003) (SOCRADES, 2006).

Del análisis se identifican características que deben tener los SGP ágiles más generales y comunes a todos los entornos, como la necesidad de una mayor automatización en el modelado de procesos para aliviar la carga de trabajo de los ingenieros de procesos o como la unificación de los numerosos estándares de modelado existentes que son utilizados en los SGP y que dificultan la interoperabilidad y el entendimiento entre los diferentes SGP (Giaglis, 2001) (Lippe *et al.*, 2005) (Mendling *et al.*, 2004).

La fase tres se corresponde con la identificación de los elementos o recursos que serán utilizados como controladores durante el *proceso de normalización de gestión de procesos* con el fin de evitar desviarse de los objetivos anteriormente mencionados.

El modelo BPM ha surgido como respuesta de gestión a los requerimientos de los nuevos modelos de negocio (Smith & Fingar, 2002). BPM contempla el cambio como una de sus principales características y la adecuación de forma ágil de los procesos de negocio permitiendo un rápido alineamiento entre los objetivos estratégicos del negocio y los operacionales (Chang, 2005) (Jeston & Neils, 2006). Por este motivo, el modelo BPM se ha considerado el más adecuado en el análisis y será usado como

conductor del *proceso de normalización de la gestión de procesos* en el entorno manufacturero. Durante el proceso se debe garantizar que el SGP ágil cumpla los ciclos de vida y los fundamentos asociados a la teoría de gestión de procesos BPM.

Los modelos de producción son otro de los elementos conductores que se deben tener en cuenta para guiar el proceso de normalización. Muchas de las características de los modelos de producción emergentes tienen una enorme repercusión en la consecución de los objetivos definidos en el proceso. Principalmente, la fabricación ágil parte de los mismos fundamentos que dichos objetivos. Además, los modelos de producción orientados hacia modelos predictivos y proactivos o teorías holónicas (Koestler, 1968) (Koestler, 1978) son fundamentales para la consecución de un SGP ágil (McFarlane & Bussmann, 2000).

Como se comentó anteriormente, las TI se contemplan en las teorías modernas de gestión de procesos como uno de sus pilares básicos, incrementando los beneficios ofrecidos por los SGP. Sin embargo, es necesario identificar los modelos, paradigmas y tecnologías más adecuados para garantizar el éxito del proceso de normalización en consonancia con los objetivos definidos y con el resto de conductores. En este sentido, el paradigma de arquitectura orientada a servicio (SOA) se presenta como la opción idónea para llevar a cabo los requisitos del proceso (Harmon, 2005) (Erl, 2005) (Jeston & Neils, 2006). Cabe destacar que paradigmas como la orientación a servicios tiene su mayor repercusión en la actualidad y sin embargo existe desde hace años y además parte de fundamentos similares que el modelo BPM. Este éxito se debe en parte a su orientación hacia enfoques de arquitecturas TI orientadas a procesos y a la aparición de tecnologías como la de los Servicios Web que facilitan todas las características sobre las que se fundamentan tanto el BPM como SOA. El resultado de los objetos de control y de suministro de esta fase se recoge en la instancia mostrada en la figura 3-7.

En la fase 4 de la metodología, a partir de la información obtenida en las fases anteriores se definen las transformaciones necesarias

que permitan convertir al SGP actual en un SGP ágil conforme a los objetivos definidos y las particularidades del entorno analizado, el de la manufacturación.

Un aspecto importante en esta fase es como el sistema contemplará a los recursos que participan en la ejecución de los procesos de negocio en las organizaciones manufactureras como la maquinaria industrial, el personal, los proveedores o los sistemas TI existentes en la organización (sistemas heredados) pero siempre alineando dicha relación con los objetivos definidos.

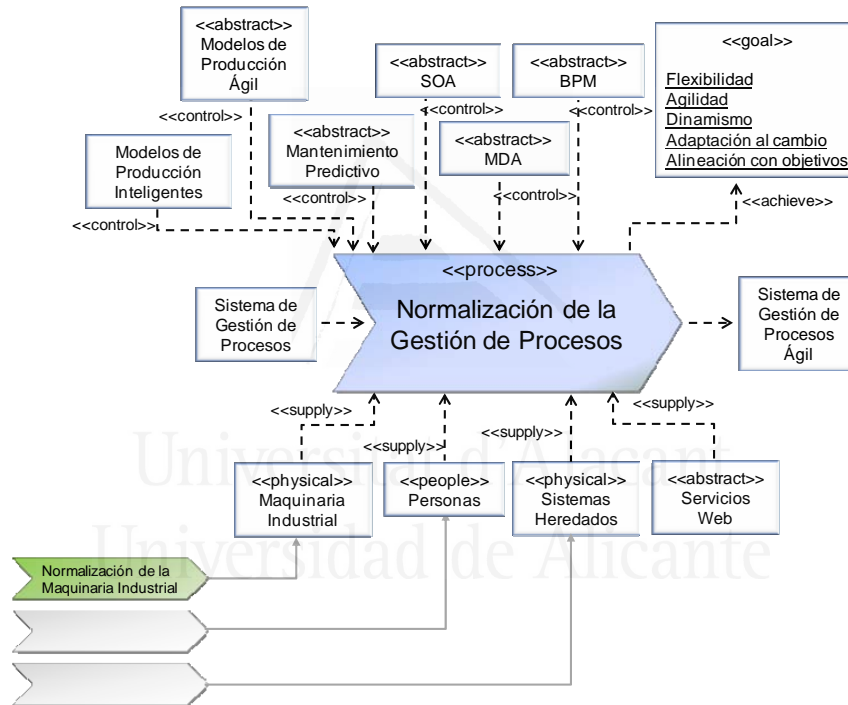


Figura 3-7. Instancia del Proceso de especificación y diseño de un SGP ágil para el sector manufacturero.

El objetivo principal fijado en esta investigación se centra en la propuesta de un modelo que permita la integración de la maquinaria industrial en el sistema de gestión de procesos ágil de forma transparente y conforme a los requisitos del mismo eliminando las restricciones físicas, tecnológicas y conceptuales entre la maquinaria y el nivel de gestión. Dicho objetivo se

alcanza desarrollando una metodología que permita sistematizar el proceso. Según esto, tomando como referencia el marco global sintetizado gráficamente en la figura 3-7, *el proceso de normalización de la maquinaria industrial* ha sido marcado en color verde de forma que se puede apreciar con claridad su ubicación dentro del modelo general y el impacto que tiene sobre el mismo. Este proceso se aborda en las siguientes secciones del capítulo y en el resto de los capítulos a través de lo que se ha denominado *proceso de normalización de la maquinaria industrial*.

Otros aspectos a tener en cuenta en esta fase, y que parten del análisis de la fase dos, es el problema de la existencia de un elevado número de estándares de modelado de procesos de negocio (Giaglis, 2001) (Mendling *et al.*, 2004) (Lippe *et al.*, 2005) (Höfferer, 2007). En esta fase se debe proponer algún enfoque que permita la unificación de los estándares de modelado de procesos. En este sentido, a partir de esta investigación, se ha planteado como posible línea futura la incorporación del paradigma MDA en el *proceso de normalización de gestión de procesos*.

Algo parecido sucede con la necesidad de automatización en el modelado de procesos en los SGP (Mendling *et al.*, 2004) (Lastra & Delamer, 2006) (Höfferer, 2007) (Al-Safi & Vyatkin, 2007). La segunda línea abierta a partir de este trabajo radica en el uso de ontologías para minimizar la carga del ingeniero de procesos en el modelado.

Como resultado de la metodología se ha obtenido una instancia del *proceso de normalización de la gestión de procesos* para el entorno manufacturero como se muestra en la figura 3-8, que abordaremos con más detalle a partir del próximo apartado.

Normalización de la Maquinaria Industrial

Como se comentó en el apartado anterior, el objeto de la tesis se centra en la integración de la maquinaria industrial para lograr la consecución de los objetivos definidos en el capítulo I e integrar

los procesos de fabricación en el sistema de gestión de procesos de la organización. De esta forma se ha propuesto un método de integración de los procesos de fabricación que permita integrar la maquinaria industrial como procesos de negocio en el mapa general de procesos de la organización y que se ha denominado *proceso de normalización de la maquinaria industrial* (figura 3-8).

Según esto, el proceso de normalización de una maquinaria industrial en función de estos objetivos, transforma la maquinaria industrial, tal como se concibe en la actualidad, para mostrarla desde un punto de vista funcional, exponiéndola como servicios y logrando una integración natural en los sistemas de gestión de procesos global de la empresa.

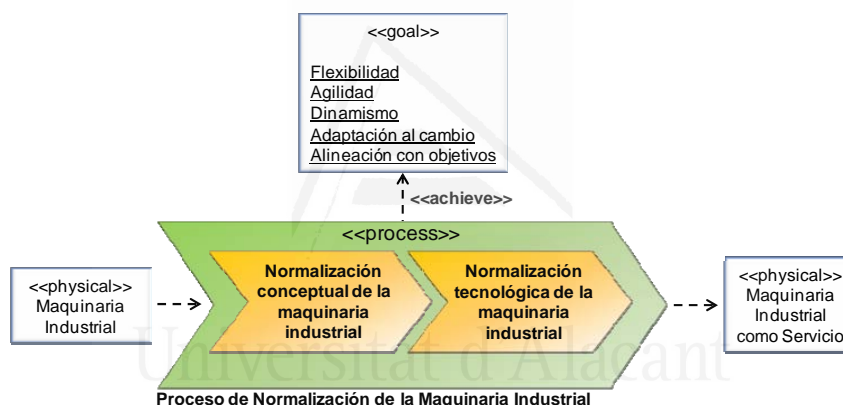


Figura 3-8. Método de integración de los procesos de fabricación, proceso de normalización de la maquinaria industrial.

Para ello, este proceso se divide, a su vez, en el *proceso de normalización conceptual de la maquinaria industrial* y el *proceso de normalización tecnológica de la maquinaria industrial*. Dicho proceso es guiado por los mismos objetivos globales planteados para el método definido para el marco general. En la figura 3-9 se puede ver con más detalle los dos principales procesos mencionados.

El primer proceso, el *proceso de normalización conceptual*, tiene como objetivo general eliminar las restricciones conceptuales tomando como entrada los procesos de fabricación de dicha maquinaria y generando un modelo conceptual de servicios

conforme a los requerimientos de los paradigmas de gestión de procesos que hagan viable los requerimientos de los nuevos modelos de negocio. Este proceso se divide, a su vez, en dos subprocesos: el *proceso de normalización conceptual de los procesos de fabricación* y el *proceso de normalización conceptual de la gestión de los procesos*.

El segundo proceso, el *proceso de normalización tecnológica* de la maquinaria industrial, tiene como objetivo establecer la arquitectura tecnológica (arquitectura IMaaS) que permita sustentar el modelo de servicios resultante del *proceso de normalización conceptual* eliminando las restricciones tecnológicas existentes y aportando flexibilidad y dinamismo a la maquinaria. El proceso transforma el elemento de entrada, la maquinaria industrial, en la arquitectura IMaaS mencionada a través de tres subprocesos: *normalización hardware de la maquinaria industrial*, *normalización middleware de la maquinaria industrial* y *normalización de servicios de la maquinaria industrial*. Este proceso se aborda con más detalle a lo largo del capítulo 5.

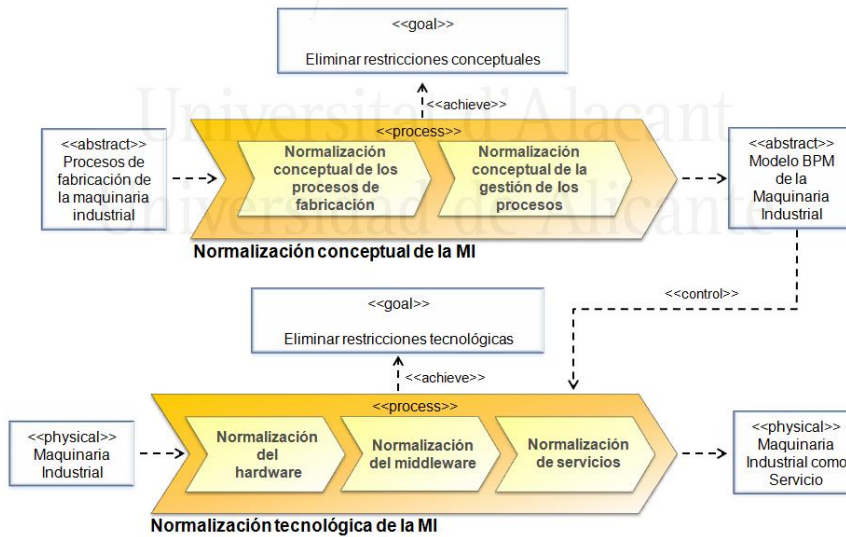


Figura 3-9. Procesos de Normalización de la Maquinaria Industrial junto con su relación.

Formalización de la Propuesta de Solución

Una vez definido el marco formal y la metodología general se está en disposición de redefinir en términos formales la propuesta de solución esbozada en el capítulo 1 (figura 1-4) y, hacerlo, además, de forma contextualizada con respecto al ámbito más general definido para la normalización de la gestión de procesos (figura 3-10).

Así pues, dentro del marco general para la propuesta de un sistema de gestión estratégico, concretamente, un sistema de gestión de procesos ágil en el entorno manufacturero, en la presente tesis se va abordar parte del *proceso de normalización de la gestión de procesos*. Específicamente, se centra en uno de los problemas identificados al aplicar la metodología como es la integración de la maquinaria industrial y que solventa la problemática presentada: la eliminación de las restricciones tecnológicas y conceptuales existente entre los elementos ubicados en los niveles inferiores de producción y los sistemas de gestión del nivel de empresa para lograr la continuidad en el negocio conforme a los requerimientos de los nuevos modelos de negocio y producción de producción ubicados.

La propuesta de solución es representada gráficamente de manera formal a través de la notación de Eriksson-Penker como muestra la figura 3-10 contextualizada en el marco general definido anteriormente.

La metodología representa los principales procesos que se llevan a cabo para lograr el objetivo y que permitan la integración de los procesos de fabricación con el resto de procesos de la organización de forma transparente, siempre en consonancia con los objetivos obtenidos anteriormente. Se divide en tres procesos fundamentales: el *proceso de normalización conceptual de la maquinaria industrial*, el *proceso de normalización tecnológica de la maquinaria industrial* y el *proceso de normalización de la gestión de los procesos de negocio*. En concreto, el trabajo de

investigación se centra en los dos primeros y, que constituyen *el proceso de normalización de la maquinaria industrial*.

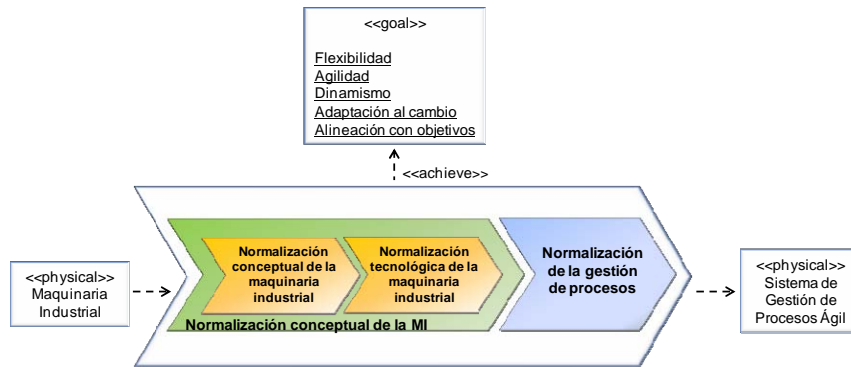


Figura 3-10. Método general de la propuesta.

Como ya se ha mencionado con anterioridad, el proceso de normalización conceptual de la maquinaria industrial se desarrolla en el capítulo 4 y, el proceso de normalización tecnológica de la maquinaria industrial se aborda en el capítulo 5.

Capítulo 4

Normalización Conceptual de la Maquinaria Industrial

En el capítulo anterior se ha descrito el marco general de la metodología propuesta a partir del cual se han establecido los procesos fundamentales necesarios para lograr la integración de la maquinaria industrial en el mapa general de procesos de la organización y que serán gestionados a través de un sistema BPMS. El objetivo de estos procesos es eliminar las restricciones existentes entre los procesos de fabricación y los de negocio con el fin de hacer viables los requerimientos de los nuevos modelos de negocio en las organizaciones manufactureras.

Para ello, se han establecido dos procesos de normalización de la maquinaria industrial, *el proceso de normalización conceptual* y *el proceso de normalización tecnológica* que se apoyan en la hipótesis de partida definida en el primer capítulo para alcanzar el objetivo general de la investigación.

El presente capítulo se centra en el primero de los procesos mencionados, *el proceso de normalización conceptual de la maquinaria industrial*, que tiene como objetivo mostrar la maquinaria industrial como un sistema BPMS eliminando las restricciones conceptuales existente entre la gestión de los

procesos de negocio del nivel empresarial y la gestión de los procesos fabricación llevados a cabo por la maquinaria industrial.

En este capítulo se puede destacar tres aportaciones principales que serán desarrolladas a lo largo del mismo. En primer lugar, un método de normalización conceptual de la maquinaria que industrial permite eliminar de forma sistemática las restricciones conceptuales entre los procesos de negocio y los procesos de fabricación. Las otras dos aportaciones se derivan de la aplicación del método anterior: la primera consiste en la propuesta de una representación formal de los conceptos de *proceso de negocio* y *proceso de fabricación* para lograr una correlación entre ambos y, de esta forma, poder representar un proceso de fabricación en el dominio del negocio; la segunda consiste en la propuesta de un modelo que permite mostrar la maquinaria industrial como un sistema BPM desde el punto de vista conceptual, independiente de la tecnología.

Proceso de Normalización Conceptual de la Maquinaria Industrial

En el capítulo anterior, como resultado de la aplicación de la metodología para la definición de un SGP estratégico en las organizaciones manufactureras, se pudo concluir que los sistemas BPM representan el enfoque más adecuado para la consecución de un SGP ágil, conforme a los requerimientos derivados de los nuevos modelos de negocio. Sin embargo, por definición, los sistemas BPM no están preparados para gestionar procesos de fabricación.

Existen diferencias conceptuales debidas a la propia naturaleza de los procesos de negocio y de fabricación y que han supuesto un factor determinante a la hora de definir los sistemas TI que los gestionan. Por un lado, los procesos de negocio poseen un carácter más abstracto, relacionado con las transacciones comerciales de las organizaciones (cumplir los objetivos

estratégicos de la organización). Por otro lado, la naturaleza de los procesos de fabricación está relacionada con los aspectos mecánicos originados por las operaciones llevadas a cabo por la maquinaria industrial y están orientados a la modificación de las propiedades de las materias primas para la consecución de un producto final.

Por estos motivos, para poder aprovechar todo el potencial de los sistemas BPM en las organizaciones manufactureras, es necesario realizar un proceso de transformación que traslade los procesos de fabricación y su gestión al dominio de los procesos de negocio.

Para llevar a cabo este proceso de transformación el *proceso de normalización conceptual de la maquinaria industrial* (figura 4-1) que tiene como objetivo principal establecer un modelo que elimine las restricciones conceptuales existentes entre los procesos de fabricación y los procesos de negocio, incorporando a la maquinaria industrial los elementos necesarios para mostrarla como un sistema de gestión basado en el ciclo de vida del modelo BPM. Como resultado final del proceso se obtiene un modelo o patrón BPM de la maquinaria industrial, que posteriormente servirá de controlador en *el proceso de normalización tecnológica de la maquinaria industrial*. Con esta propuesta se pretende evitar que se produzcan desviaciones de la visión y de los objetivos de negocio trazados en los niveles superiores de la organización.

Para lograr su objetivo el proceso se ha dividido en dos subprocesos con objetivos claramente diferenciados (figura 4-1). En primer lugar, *el proceso de normalización de los procesos de fabricación de la maquinaria industrial* tiene como objetivo mostrar los procesos de fabricación y operaciones mecánicas llevadas a cabo por la maquinaria industrial como procesos de negocio estableciendo para ello una correlación entre ambos dominios, el de fabricación y el del negocio. En segundo lugar, *el proceso de gestión de los procesos de negocio de la maquinaria industrial* tiene como objetivo mostrar la maquinaria industrial como un sistema BPM incluyendo los elementos y componentes necesarios para satisfacer sus principios fundamentales, pero

manteniendo a la vez los requerimientos de la gestión de procesos de fabricación. Para ello, es necesario establecer una correlación entre la gestión de los procesos de fabricación y la gestión de los procesos de negocio.

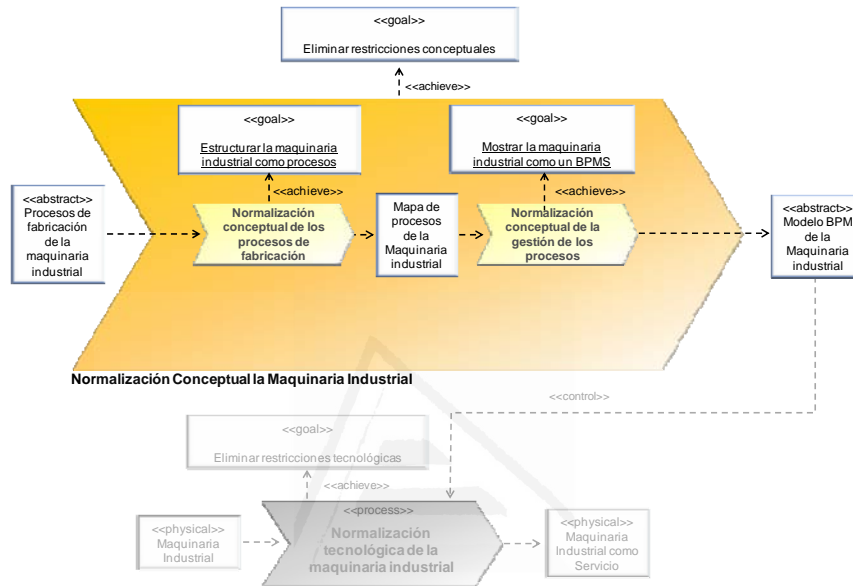


Figura 4-1. Proceso de Normalización Conceptual de la Maquinaria Industrial.

Proceso de Normalización Conceptual de los Procesos de Fabricación de la Maquinaria Industrial

Los BPMS establecen como unidad básica de gestión los procesos de negocio, lo que implica que para gestionar los procesos de fabricación llevados a cabo por la maquinaria industrial, éstos deben ser trasladados al dominio de los procesos de negocio y se debe establecer una correlación entre ambos que permita visualizar y estructurar los procesos de fabricación de la maquinaria industrial como procesos de negocio. Éste es el objetivo del proceso de normalización conceptual de los procesos de fabricación de la maquinaria industrial.

En la figura 4-2 se muestra gráficamente, mediante la notación de Eriksson-Penker, el modelado del proceso mencionado. Como se puede ver en la misma, el proceso recibe como entrada los

procesos de fabricación llevados a cabo por la maquinaria industrial. Este elemento es un objeto de tipo abstracto que representa los procesos de fabricación y el conjunto de operaciones de fabricación necesarias para llevarlos a cabo y será el objeto que transformará el proceso.

Como resultado de la aplicación del proceso se obtiene un modelo conceptual que permite estructurar los procesos y operaciones de fabricación de la maquinaria industrial de la misma forma que se hace en un mapa de procesos de negocio, y de esta manera, podrán ser gestionados por un BPMS. A este elemento se le ha denominado *mapa de procesos de negocio de la maquinaria industrial*.

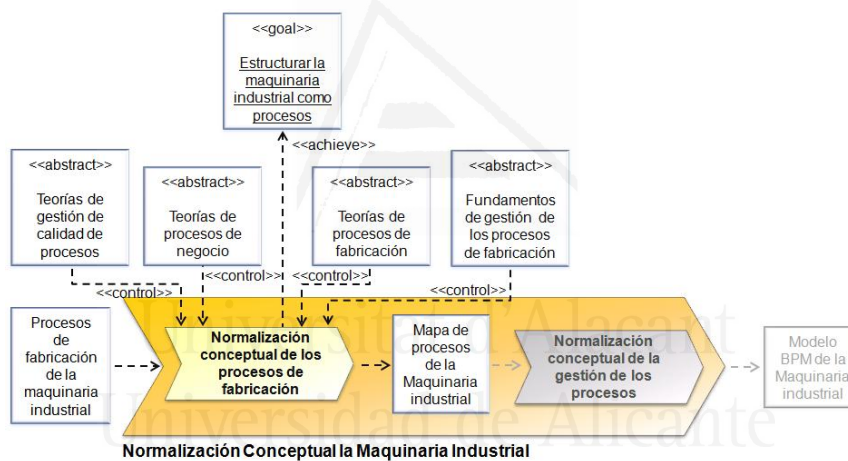


Figura 4-2. Proceso de categorización de procesos de la maquinaria industrial.

Para lograr el objetivo del proceso y evitar desviaciones del mismo se han identificado un conjunto de elementos de control encargados de guiar y conducir la ejecución del proceso. Estos elementos están formados por las teorías de procesos de negocio, las teorías de gestión de calidad de procesos, las teorías de procesos de fabricación y los fundamentos de gestión de los procesos de fabricación.

A partir del análisis de las definiciones existentes de proceso de negocio y sus clasificaciones propuestas en los dos elementos de

control, *teorías de procesos de negocio* y *teorías de gestión de calidad de procesos*, se ha obtenido un modelo formal que representa dicho concepto. Este modelo simplificado representa la estructura organizativa que se debe alcanzar partiendo del modelo organizativo definido para el concepto de proceso de fabricación.

Las definiciones y clasificaciones de los procesos de fabricación contempladas en *las teorías de procesos de fabricación* permitirán controlar el proceso a la hora de establecer un modelo organizativo de partida del concepto proceso de fabricación. Este modelo debe ser trasladado al dominio del negocio.

De *los fundamentos de gestión de procesos de fabricación* se extraerán las técnicas, métodos y recomendaciones más utilizadas en la gestión de los procesos llevados a cabo por la maquinaria industrial y que deben ser contemplados en el modelo.

Para llevar a cabo el proceso se han definido las siguientes fases:

- La definición del concepto proceso de negocio.
- La categorización de los procesos de negocio.
- La definición formal del concepto proceso de negocio a partir de las fases anteriores.
- La definición del concepto proceso de fabricación.
- La clasificación de procesos y operaciones de fabricación.
- La formalización del concepto de proceso de fabricación a partir del análisis realizado en las dos fases anteriores.
- Por último, la correlación entre ambos modelos.

Como se describió en el estado del arte las definiciones del concepto de proceso de negocio son muy variadas, al igual que sus clasificaciones, pero la mayoría de ellas coinciden exceptuando pequeños matices.

En la primera fase, partiendo del estudio llevado a cabo en el estado del arte, se ha realizado un análisis de las distintas

definiciones propuestas por los autores y organizaciones más relevantes en este ámbito. Como conclusión la definición adoptada para un proceso de negocio se puede sintetizar en:

«Un conjunto estructurado, medible, de actividades diseñadas para producir un resultado de negocio definido en base a unos objetivos.»

En la segunda fase se ha realizado una categorización de los procesos de negocio basada en las propuestas analizadas en el estado del arte. La mayoría de ellas coinciden en dos tipos de procesos de negocio, los procesos de negocio principales que son aquellos que aportan el valor a la organización y los procesos de negocio de soporte que facilitan las operaciones en curso de los procesos principales. Algunas teorías proponen un tercer tipo de procesos de negocio, los estratégicos, pero que no afectan al problema de la integración definido y pueden ser incluidos en cualquier caso como procesos de soporte.

En la figura 4-3 se ha formalizado, mediante la notación UML, el concepto de proceso de negocio que engloba las conclusiones extraídas en las dos fases anteriormente descritas. Este es el modelo conceptual al que se debe llegar para estructurar los procesos de la maquinaria industrial como un mapa de procesos de negocio.

Al igual que en el caso anterior, se ha establecido una representación formal del concepto de proceso de fabricación a partir del análisis de sus definiciones y clasificaciones. Tomando como referencia la formalización propuesta, será más sencillo realizar una comparativa entre ambos dominios y, de esta forma, establecer la correspondencia que permita visualizar los procesos de fabricación como procesos de negocio.

En la primera fase se ha realizado una definición del concepto de proceso de fabricación basándose en las propuestas descritas en (Espinosa, 2003) (Groover, 2000) y en (Alting, 1993).

«El conjunto de operaciones que realiza una maquinaria industrial para transformar una materia de partida en un

producto diferente conforme a las necesidades del propio fabricante o de un cliente.»

«Desde el punto de vista de la maquinaria industrial se puede definir como el conjunto de operaciones de la maquinaria para realizar la transformación requerida.»

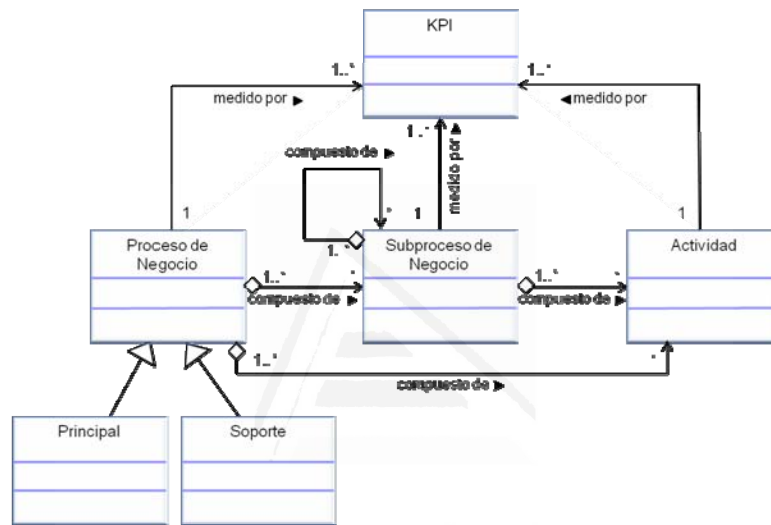


Figura 4-3. Representación mediante modelado UML de la definición y clasificación del concepto proceso de negocio.

Aunque no aparece el concepto de medida en la definición de proceso de fabricación, es un aspecto muy importante en la actualidad para garantizar la calidad en la manufactura. Tradicionalmente, se entendía la calidad como el cumplimiento de las especificaciones y se centraba en el control del producto. Esto implicaba una falta de capacidad predictiva y preventiva que es resuelta mediante los nuevos requerimientos de la manufactura a través del control de calidad del proceso de fabricación. Los puntos de inspección son una de las principales formas de medir el éxito del proceso y del producto en los procesos de fabricación y las operaciones supeditadas. En (Espinosa, 2003) (Groover, 2000) se pueden ver los distintos tipos

de inspección basados en la comprobación de *atributos* y *variables* y que han servido para formalizar el modelo y acercarlo al de proceso de negocio. Los datos claves adquiridos pueden ser recogidos a través de sensores.

En la segunda fase se ha realizado una categorización de los procesos y operaciones de fabricación que tienen lugar en la maquinaria industrial, basándose en las propuestas descritas en (Groover, 2000) y (Alting, 1993). Aunque existen multitud de clasificaciones de los procesos de fabricación, como las realizadas a partir del tipo de material sobre el que se trabaja, del impacto económico, de la naturaleza del proceso o del tipo de máquina industrial utilizada, para el propósito del presente trabajo la clasificación se ha realizado en función de la importancia de los procesos de fabricación siguiendo la propuesta de la formalización del concepto de proceso de negocio.

En este sentido, se han clasificado los procesos en: básicos o primarios y auxiliares. Por otro lado, la clasificación y la definición únicamente establece como procesos de fabricación aquéllos que realizan alguna transformación en el material, sin embargo, la presente propuesta pretende solventar el problema de integración de cualquier maquinaria que participe en la producción aunque no realice transformaciones en la materia, como puede ser: un sistema de almacenamiento o sistemas de transporte. En este sentido, los tipos de procesos han sido dotados de una mayor semántica, estableciendo los procesos básicos como aquellos que son principales desde el punto de vista de la maquinaria que los lleva a cabo. Los auxiliares abarcan los procesos de apoyo a los anteriores. El desechar el resto de clasificaciones no implica perder las características del entorno industrial, es más, una vez realizada la transformación pueden seguir manteniéndose las clasificaciones existentes.

En la figura 4-4, se muestra la formalización obtenida mediante la notación UML del concepto de proceso de fabricación que engloba las conclusiones extraídas en las dos fases anteriormente descritas.

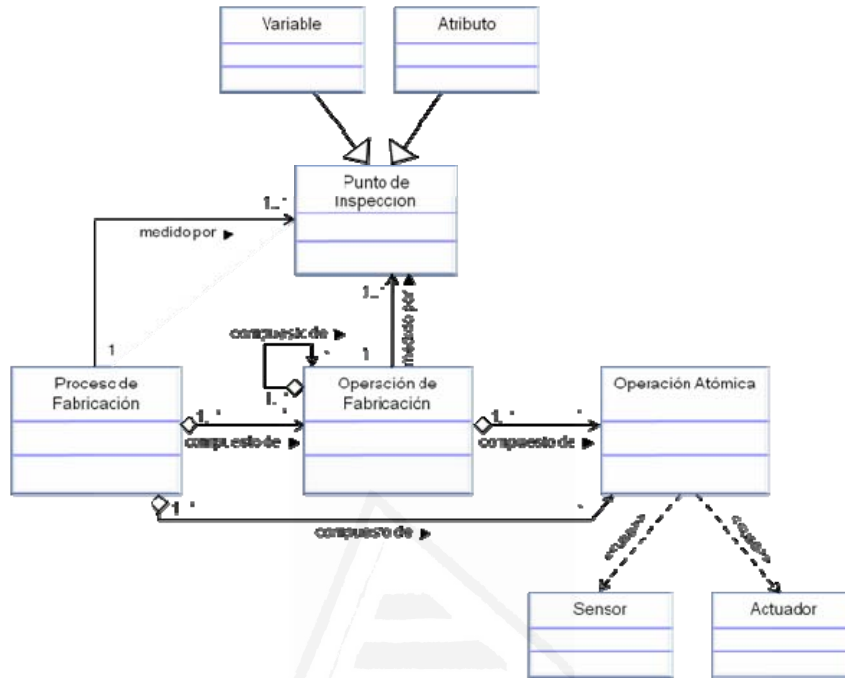


Figura 4-4. Representación mediante modelado UML de los procesos de fabricación.

A partir de los dos modelos descritos anteriormente se puede establecer una correlación que permite representar los procesos de fabricación en el dominio del negocio.

Haciendo una comparativa de los dos modelos, se pueden ver las similitudes y diferencias de los dos procesos. Desde el punto de vista conceptual, los procesos añaden valor al objeto de entrada a través de las transformaciones que se realizan sobre el mismo. Desde el punto de vista estructural, ambos elementos se organizan de forma jerárquica y están compuestos por un conjunto de subelementos de grano más fino hasta llegar a los elementos indivisibles más básicos.

En un proceso de fabricación llevado a cabo en una maquinaria industrial, las operaciones más básicas son aquellas que se realizan sobre un sensor o un actuador. En este sentido, en el dominio del negocio, pueden ser comparadas a las actividades, que son los elementos más básicos que no pueden ser

descompuestos en otros porque, por su sencillez, dicha descomposición no implica valor para la organización.

En ambos dominios, los procesos deben ser medidos a través de la adquisición de ciertos parámetros para alcanzar los objetivos para los que han sido definidos. Mientras que en los procesos de negocio los indicadores clave de desempeño o los *Key Performance Indicators* (KPI) miden la correcta ejecución de los procesos en base a los objetivos fijados, en los procesos de fabricación, a través de los puntos de inspección, se definen las características clave del producto y del proceso que garanticen el cumplimiento de las especificaciones. Aunque existen matices conceptuales entre ambos dominios, se puede establecer una relación de equivalencia entre ellos. De esta forma, los KPI equivaldrían a los puntos de inspección, más concretamente, las operaciones definidas en los KPI equivaldrían a las operaciones y datos definidos para un punto de inspección.

En la tabla 4-1 se muestra la equivalencia entre los elementos del modelo de partida o del proceso de fabricación con respecto al modelo objetivo o del proceso de negocio.

Tabla 4-1. Correlación entre procesos de fabricación y procesos de negocio.

Dominio de la Fabricación	Dominio del Negocio
Proceso de Fabricación	Proceso de Negocio
Operación de Fabricación	Subproceso de Negocio
Operación Atómica	Actividad
Punto de Inspección	KPI

Como resultado final del proceso, se ha creado un modelo, denominado *mapa de procesos de negocio de la maquinaria industrial* (figura 4-5), que está formado por el conjunto de procesos de negocio que se llevarán a cabo en la maquinaria industrial, definido a partir del modelo presentado en la figura 4-3. De manera formal, mediante la notación UML, se ha definido

el concepto de mapa de proceso de la maquinaria industrial en la figura 4-5.

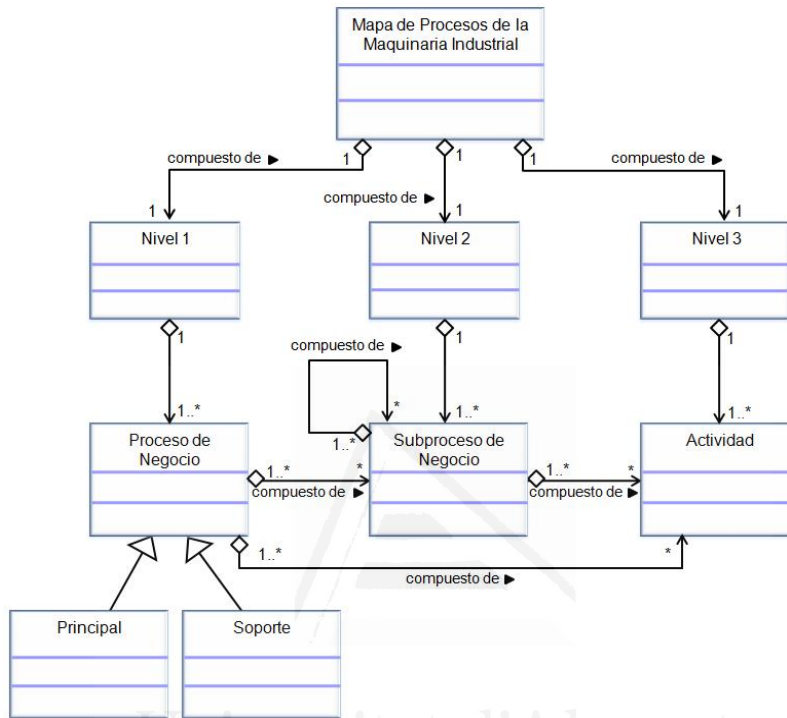


Figura 4-5. Modelado en UML del mapa de procesos de la maquinaria industrial.

El mapa de procesos de negocio de la maquinaria industrial se ha dividido en tres niveles, como se muestra la representación conceptual del modelo de la figura 4-6. En el nivel 1 se han contemplado aquellos procesos de negocio que ejecutan las actividades de mayor nivel de abstracción de la maquinaria industrial. Éstos serán utilizados, junto con otros procesos y subprocesos del mapa global de la organización, para conformar procesos de negocio de un nivel superior. La configuración de los parámetros (objetivos, indicadores, variables de control, etc.) de los procesos de nivel 1 vendrá definida en función de los parámetros del proceso de la cadena de valor o proceso de soporte en el que esté incluido y, por tanto, estará alineado

directamente con los objetivos del mismo. Existen dos tipos de procesos de nivel 1: procesos principales y procesos de soporte.

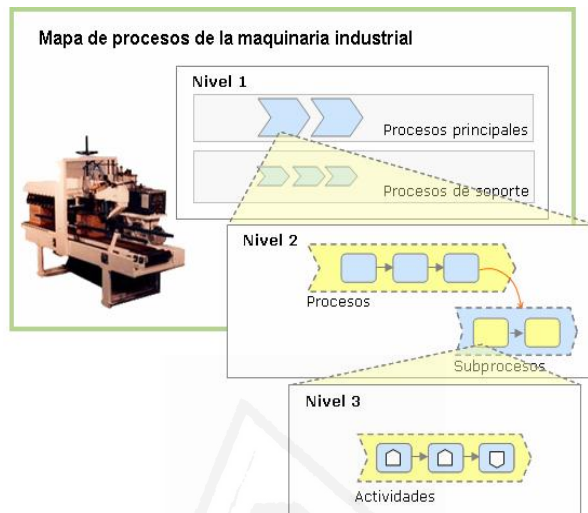


Figura 4-6. Modelo del mapa de procesos de la maquinaria industrial.

Los procesos principales encapsulan la funcionalidad principal de la maquinaria industrial mostrándola como procesos de negocio. Éstos serán incluidos en la jerarquía de subprocesos de los procesos de la cadena o cadenas de valor con los que tiene relación (por ejemplo, el proceso de logística puede incluir un proceso de negocio llamado *almacenar materia prima*, expuesto por un almacén inteligente cuyo objetivo, indicadores, variables de control, etc., serán determinados por el ingeniero de procesos en virtud de los parámetros asociados al proceso de logística).

Los procesos de soporte permiten desarrollar las operaciones de los procesos principales. Dos ejemplos de procesos de soporte imprescindibles en el entorno de la manufacturación son *el proceso de mantenimiento de la mecánica de la maquinaria industrial* y *el proceso de seguridad en las operaciones llevadas a cabo por esta maquinaria*. Ambos tienen como objetivo el establecimiento de las políticas de mantenimiento de la maquinaria y de seguridad que permitan evitar la inactividad del sistema impidiendo la ejecución de los procesos principales.

En el primer caso, el principal objetivo es minimizar los tiempos de parada debido a los fallos y roturas mecánicas. El objetivo es reducir los costes asociados mediante el uso de técnicas predictivas y preventivas que permitan adelantarse a dichos fallos, o el uso de técnicas reactivas y correctoras que reduzcan o eviten las paradas del sistema. Por ejemplo, dentro del mapa global de procesos de la organización se podría definir un proceso de mantenimiento de recursos de la organización que incluyera un subproceso de control del funcionamiento y mantenimiento de los componentes mecánicos del almacén inteligente, como motores, sensores, etc.

En el segundo caso, la seguridad relacionada con el funcionamiento y manejo de la maquinaria industrial (Groover, 2000) tiene como objetivo minimizar el riesgo de los trabajadores y proteger el sistema cuando se está realizando operaciones de fabricación identificando las situaciones de riesgo, idealmente antes de que sucedan, mediante la monitorización y el análisis de la información recogida por sensores y estableciendo las acciones correctivas y de recuperación necesarias para mantener el nivel de seguridad (parada total del sistema, alarmas, reducir la velocidad del sistema o realizar acciones correctivas recuperando el estado inicial de seguridad). En este caso, el proceso descrito podría contemplarse como un subproceso del proceso de prevención de riesgos y seguridad de la organización.

El nivel 2 está formado por los procesos de negocio que conforman los procesos definidos en el nivel 1. Éstos, a su vez, y en función de su complejidad, pueden subdividirse en otros procesos del nivel 2 de forma reiterativa (subprocesos).

En el último nivel, nivel 3, se encuentran las actividades o procesos básicos que reflejan el comportamiento de más bajo nivel de la maquinaria industrial y, por tanto, más cercano a la funcionalidad mecánica de la máquina. Éstas son utilizadas para componer procesos de los niveles superiores anteriormente nombrados (en el caso del almacén inteligente podría tener actividades de lectura de sensores, movimiento de motores, etc.).

El enfoque de la propuesta descrito en esta sección permite que la maquinaria industrial pueda mostrarse como un conjunto de procesos de negocio que puede ser integrado de forma transparente en el mapa de procesos general de la organización como se muestra en la figura 4-7. De esta forma se ha logrado eliminar una de las restricciones conceptuales que impedían la integración de la maquinaria industrial de forma transparente en el mapa general de procesos de la organización.

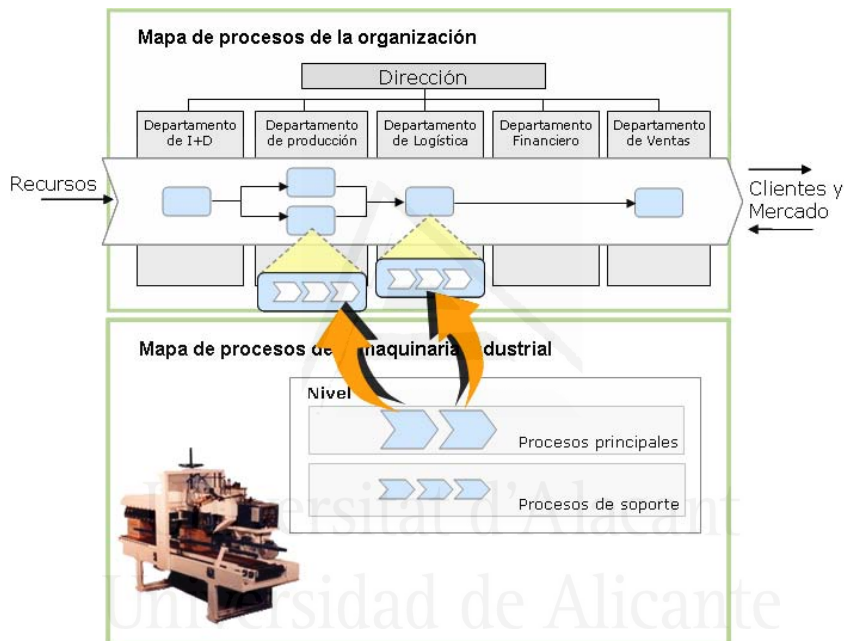


Figura 4-7. Integración de los procesos de la maquinaria industrial en el mapa global de procesos de la organización.

Proceso de Normalización Conceptual de la Gestión de los Procesos de Negocio de la Maquinaria Industrial

Una vez definido el mapa de procesos de la maquinaria industrial, se deben especificar los elementos necesarios que permita a la maquinaria industrial gestionar dicho mapa de procesos. Estos elementos deben satisfacer los principios

fundamentales del modelo BPM pero alineándolo con las teorías de gestión de procesos de fabricación. De esta forma, se podrá obtener una visión de la maquinaria industrial como un sistema de gestión de procesos de negocio que, además, contemple los requerimientos del entorno manufacturero. Éste es el objetivo del proceso de gestión de los procesos de negocio de la maquinaria industrial.

En la figura 4-8 se muestra gráficamente y mediante la notación de Eriksson-Penker el proceso de gestión de los procesos de negocio de la maquinaria industrial. El proceso recibe como entrada el *mapa de procesos de la maquinaria industrial*. Se trata de un objeto de tipo abstracto que será transformado durante la ejecución del proceso y que fue obtenido como resultado de la aplicación del proceso previo.

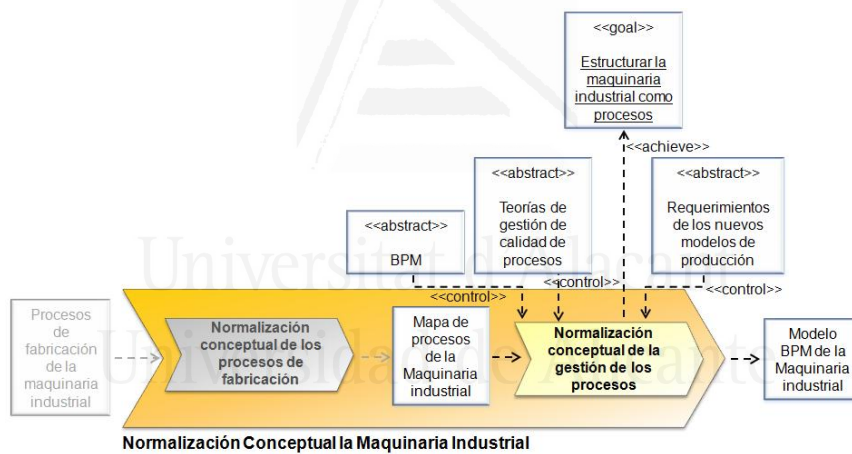


Figura 4-8. Proceso de normalización conceptual de la gestión de procesos.

Como resultado de la aplicación del proceso se obtiene un modelo conceptual que incluye los elementos necesarios del paradigma BPM para gestionar de forma autónoma y automática el mapa de procesos de negocio de la maquinaria industrial, contemplando los métodos y enfoques de gestión del entorno industrial.

Se ha definido un conjunto de objetos de control con el fin de evitar desviarse del objetivo del proceso y de guiar la ejecución del

mismo. Los controladores son los requerimientos de los nuevos modelos de producción, el paradigma BPM y las teorías de gestión de calidad de procesos.

Los requerimientos de los nuevos modelos de producción permitirán controlar que el modelo anterior contemple los requisitos y los nuevos enfoques de los modelos de fabricación. Por ejemplo, sistemas de producción autónomos con capacidades de decisión, sistemas que contemplen modelos correctivos y predictivos en la ejecución de los procesos de fabricación, etc.

El paradigma BPM es el principal controlador del proceso puesto que el objetivo es mostrar la maquinaria industrial como un sistema BPM. Dicho modelo guiará la identificación de los elementos de gestión de procesos de negocio necesarios para que la maquinaria industrial pueda mostrarse como un BPMS.

Por último, durante el proceso se tendrán en cuenta las recomendaciones en la gestión de procesos de fabricación derivadas de las principales *normas de calidad de gestión de procesos* para definir la funcionalidad de los elementos BPM de la maquinaria industrial.

Para alcanzar los objetivos del proceso se han definido las siguientes etapas: identificación de los elementos de gestión BPM de la maquinaria industrial y especificación de su funcionalidad para el establecimiento del modelo base, identificación de los nuevos requerimientos en el entorno manufacturero, identificación de las recomendaciones de gestión de calidad en el entorno de fabricación y por último, correlación de las funcionalidades identificadas en las fases anteriores para la formalización y especificación del modelo final.

En la primera etapa se ha realizado un análisis de las funcionalidades y componentes en las que se fundamenta el modelo BPM a partir de la propuesta realizada por Smith y Fingar (Smith, 2002), dos de los principales impulsores del movimiento BPM y que fue descrita en el estado del arte. El objetivo es identificar y definir cuáles de estas características deben ser

contempladas en la maquinaria industrial para mostrarla como un sistema BPM.

Los autores definen ocho características o funcionalidades que debe comprender el modelo BPM (figura 4.9): descubrimiento, diseño o modelado, despliegue, ejecución, interacción, control, optimización y análisis de procesos.

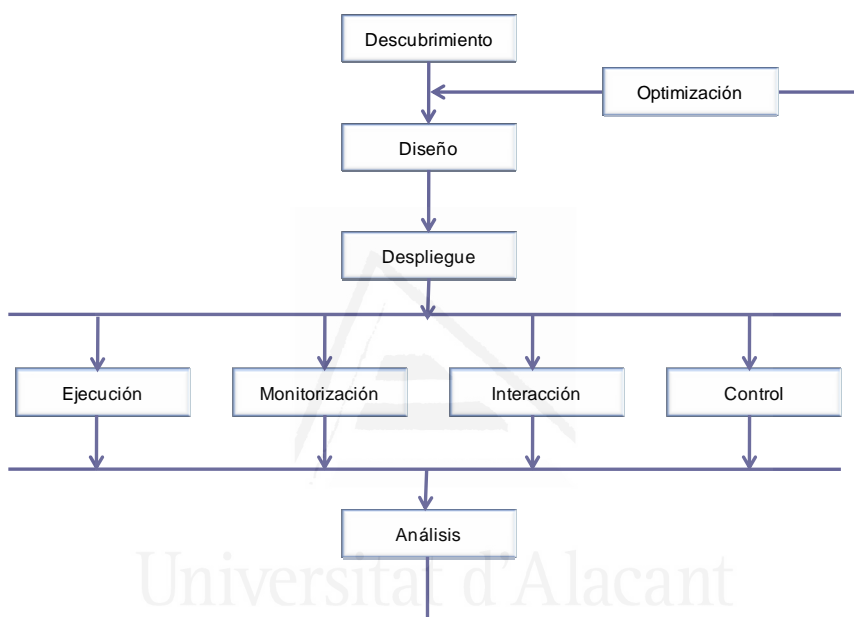


Figura 4-9. Funcionalidades del modelo BPM (Smith & Fingar, 2002).

El sistema de descubrimiento tiene como objetivo describir y dar a conocer todos los detalles, tanto internos como externos, de los procesos de negocio llevados a cabo en la maquinaria industrial al resto de la organización. Éste sirve de enlace entre el mapa de procesos de la organización y el mapa de procesos de la maquinaria industrial. De esta forma, se podrá, en primer lugar, diseñar nuevos procesos de negocio de mayor nivel de abstracción en la maquinaria industrial a partir de los existentes.

En segundo lugar, se podrá incluir tanto, los nuevos procesos conformados, como los ya existentes de la maquinaria industrial en el mapa de procesos global de la organización. A continuación se muestran los casos de uso que describen la funcionalidad del

sistema y que han sido modelados mediante UML en la figura 4-10.

- Publicar procesos y subprocessos de negocio.
 - Describir flujo del proceso y subprocesso (flujo de eventos, flujo de información y de control).
 - Describir objetivos y KPI asociado.
 - Describir reglas de negocio del proceso.
- Publicar actividades.
 - Describir objetivos y KPI asociado.
 - Describir reglas de negocio de la actividad.

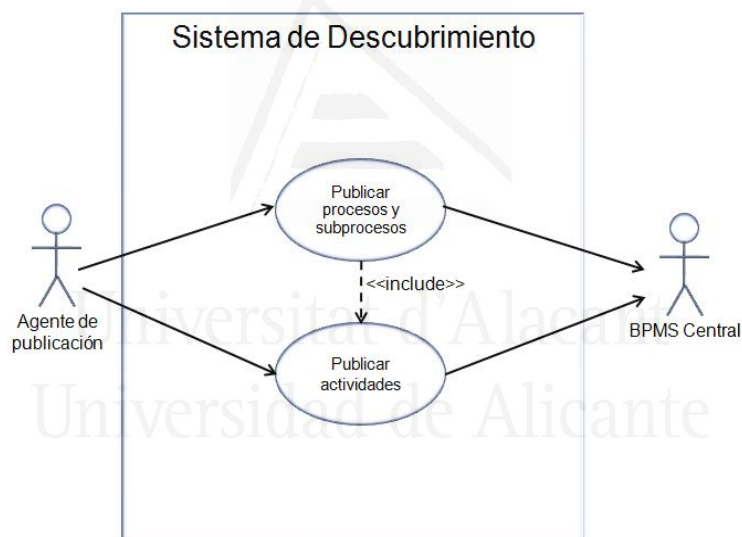


Figura 4-10. Diagrama de casos de uso del sistema de descubrimiento.

La funcionalidad de diseño o modelado propuesta por Smith y Fingar engloba el modelado, manipulación y rediseño de los procesos de negocio de la organización. En la propuesta esta funcionalidad será distribuida y llevada a cabo por *el sistema de modelado* incluido en la maquinaria industrial y por el sistema BPM central que gestiona los procesos de negocio de toda la organización. El sistema de modelado de la maquinaria industrial

ofrece una interfaz al ingeniero de procesos que le permite definir nuevos procesos de mayor nivel de abstracción a partir de los procesos existentes en dicha maquinaria o modificar sus características y parámetros. Este sistema aporta un mayor grado de autonomía a la maquinaria industrial en la gestión de procesos de negocio, en concreto en el aspecto de diseño, independientemente del sistema global. El sistema debe interactuar o comunicarse con el sistema de despliegue para incluir los cambios realizados y con el sistema de descubrimiento para que el sistema BPM global pueda manejar los nuevos procesos creados. Los casos de uso que describen la funcionalidad son listados a continuación.

- Modelar procesos.
 - Definir flujo de proceso.
 - Definir actividades.
 - Definir KPI y objetivos.
 - Definir reglas de negocio.
- Analizar procesos.
- Desplegar procesos.

En la figura 4-11 se muestra el diagrama de casos de uso del sistema de modelado.

El sistema de despliegue incluye la funcionalidad necesaria que posibilita la incorporación en la máquina industrial de nuevos procesos o procesos existentes que han sido modificados o rediseñados, así como las reglas de negocio, parámetros y métricas y el flujo de los procesos (figura 4-12).

- Desplegar procesos y reglas de negocio.
 - Almacenar y configurar flujo de proceso.
 - Almacenar y configurar objetivos y KPI.

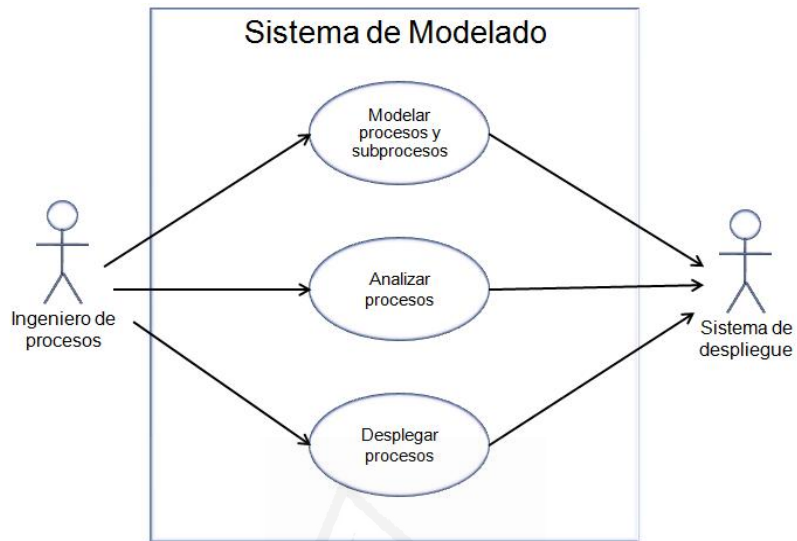


Figura 4-11. Diagrama de casos de uso del sistema de modelado.

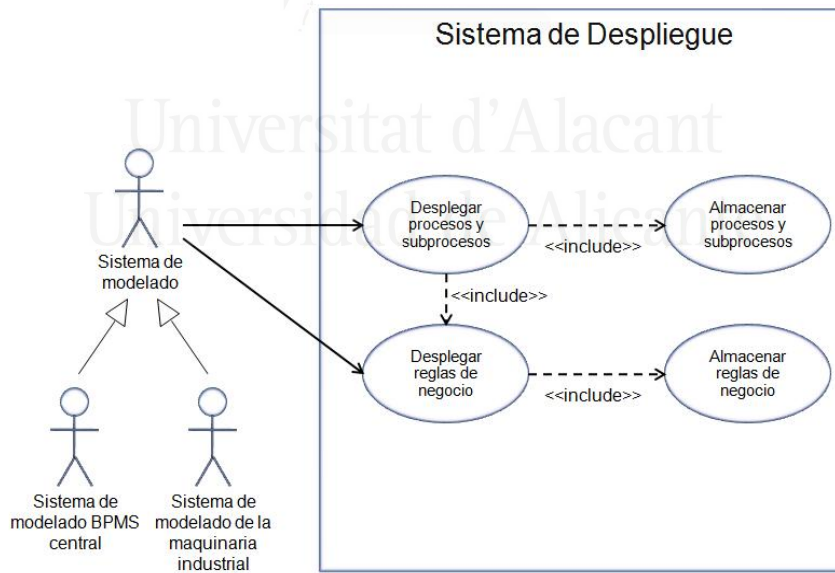


Figura 4-12. Diagrama de casos de uso del sistema de despliegue.

El sistema de ejecución (figura 4-13) tiene como objetivo garantizar que los procesos de negocio de la maquinaria industrial sean llevados a cabo de forma correcta, tanto los incluidos de forma nativa en la maquinaria como los desplegados posteriormente sobre la misma, controlando el estado de los mismos y sincronizando las diferentes actividades que componen los procesos y así como la interacción entre los diferentes participantes.

- Ejecutar procesos y actividades.
- Gestionar ciclo de vida de procesos y actividades.
- Gestionar persistencia y estado de los procesos.
- Gestionar transacciones, sincronización y seguridad.
- Gestionar persistencia y estado de los procesos.
- Gestión de interacción de los procesos (flujo de información y actividades).
- Ejecutar reglas de negocio.

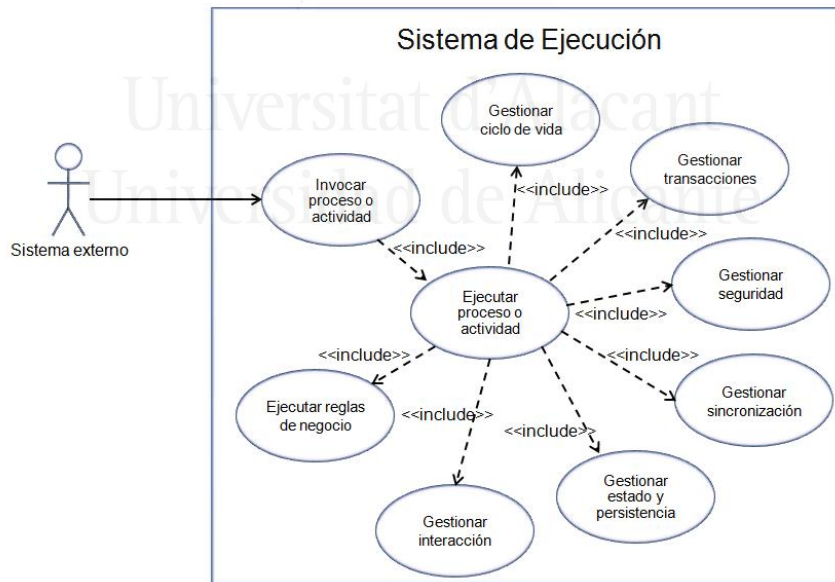


Figura 4-13. Diagrama de casos de uso del sistema de ejecución.

El sistema de control (figura 4-14) engloba las funcionalidades de monitorización, control, análisis y optimización definidas en la propuesta de Smith y Fingar. Este sistema se encarga de la supervisión y el control de los procesos que se están ejecutando en la maquinaria industrial para asegurarse que dicha ejecución se realiza de acuerdo con los objetivos e indicadores establecidos para cada proceso, subproceso o actividad. Establece los mecanismos necesarios que permitan analizar la información obtenida en la monitorización y posteriormente, corregir las desviaciones de los objetivos, bien, de forma inmediata e interna, modificando las variables de control asociadas a los indicadores del proceso (sistema de corrección), o bien, mediante la interacción con procesos externos a la maquinaria que supongan operaciones más complejas para la corrección (sistema de alerta). El sistema también se encarga de la detección de errores o problemas inesperados en la ejecución de los procesos y de su resolución, así como del correcto aprovechamiento del uso de los recursos por parte de los procesos.

- Monitorizar procesos y actividades en ejecución.
 - Monitorizar indicadores de procesos.
 - Monitorizar rendimiento.
 - Analizar información de procesos.
- Gestionar recursos de procesos.
 - Gestionar cuellos de botella del proceso y actividades.
- Gestionar errores y excepciones.
- Gestionar medidas correctivas.
- Gestionar avisos y alarmas.

Parte de la funcionalidad de análisis y optimización será llevada a cabo por el sistema BPM central cuando no pueda ser realizada por el sistema de control de la maquinaria industrial. En este caso, es el subsistema de alerta el responsable de comunicar los errores o las desviaciones detectadas. Estos avisos permitirán

establecer mejoras en el diseño de los procesos y en su ejecución a los responsables de la organización.

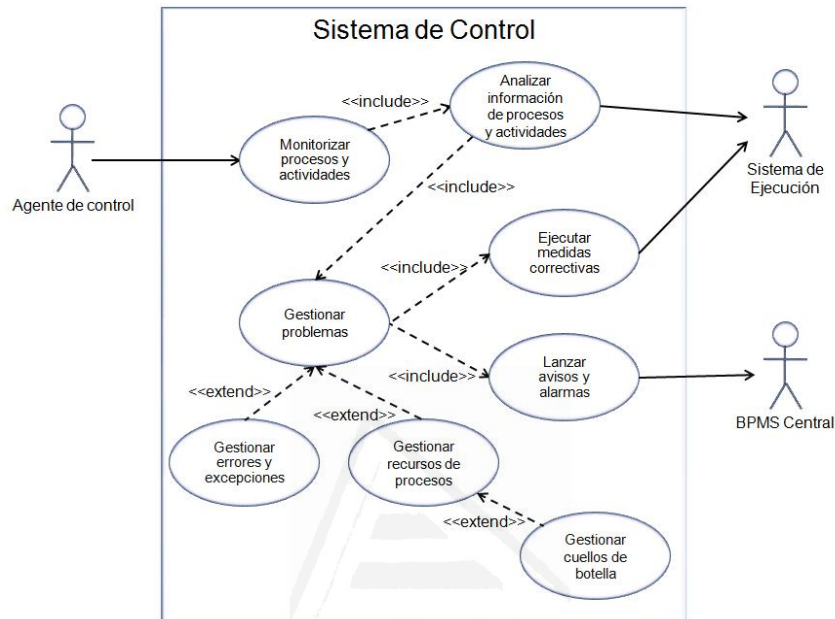


Figura 4-14. Diagrama de casos de uso del sistema de control.

La capacidad de interacción según Smith y Fingar en el ciclo de vida del modelo BPM posibilita que las personas puedan interactuar con los procesos de negocio visualizando la información de estado de los mismos y permitiendo su configuración y la intervención sobre los mismos ante posibles anomalías. En el modelo BPM de la maquinaria industrial esta funcionalidad es englobada en *el sistema de interacción* (figura 4.15) que permite al administrador u operario de la maquinaria y al ingeniero de procesos interactuar con el sistema de gestión de procesos de la maquinaria industrial, así como con los procesos que en ella se ejecutan. Este sistema ofrece una interfaz de acceso para la gestión del resto de sistemas descritos.

- Mostrar información y estado de los procesos y actividades.
- Gestionar y modificar los procesos y actividades.

- Configurar y gestionar el sistema.

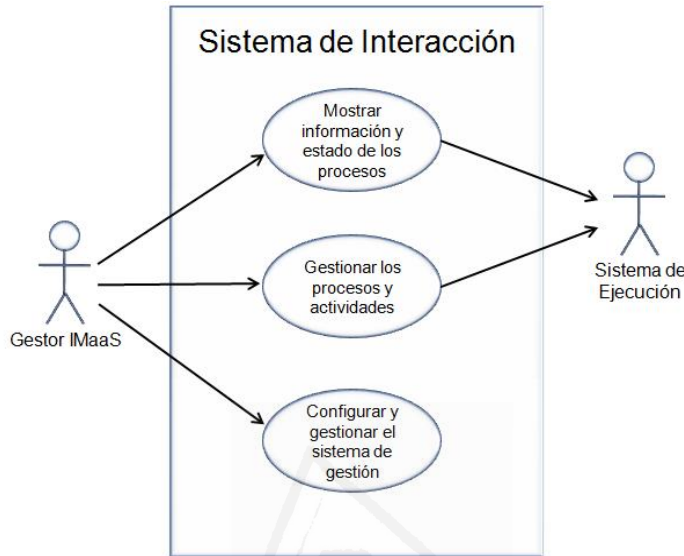


Figura 4-15. Diagrama de casos de uso del sistema de interacción.

Como resultado de esta primera fase se ha obtenido un modelo conceptual que muestra la maquinaria industrial como un sistema BPM (figura 4.16).

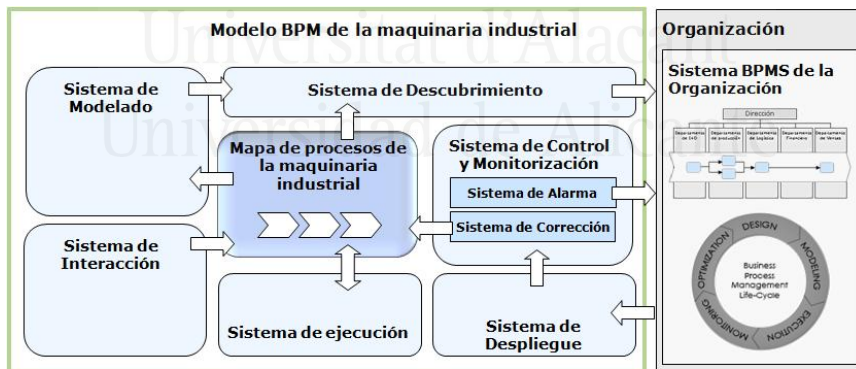


Figura 4.16. Representación conceptual del Modelo BPM de la maquinaria industrial.

En la figura 4.17 se muestra la representación formal, mediante notación UML, las relaciones existentes entre los diferentes sistemas que conforman el modelo BPM propuesto y el mapa de procesos de negocio de la maquinaria industrial.

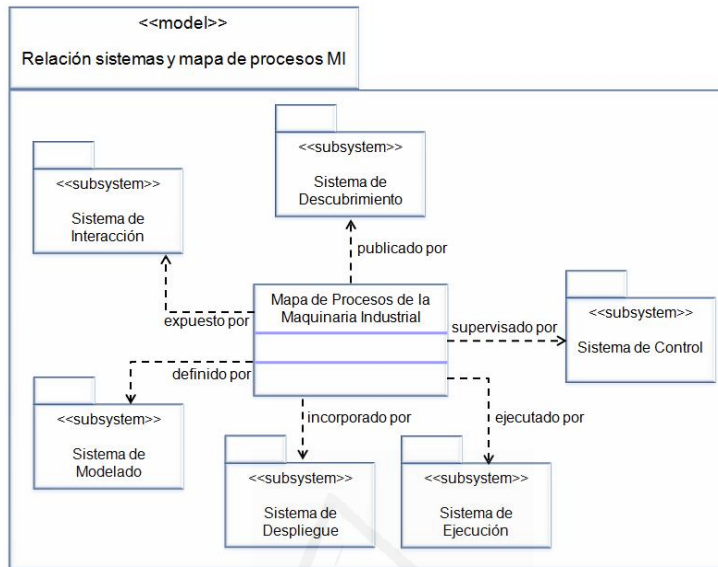


Figura 4.17. Relación de los sistemas del modelo BPM y el mapa de procesos de la maquinaria industrial.

Para completar la descripción del modelo, en la figura 4.19 se describe formalmente la relación existente entre los diferentes sistemas del modelo BPM de la maquinaria industrial y los actores externos que interactúan con él.

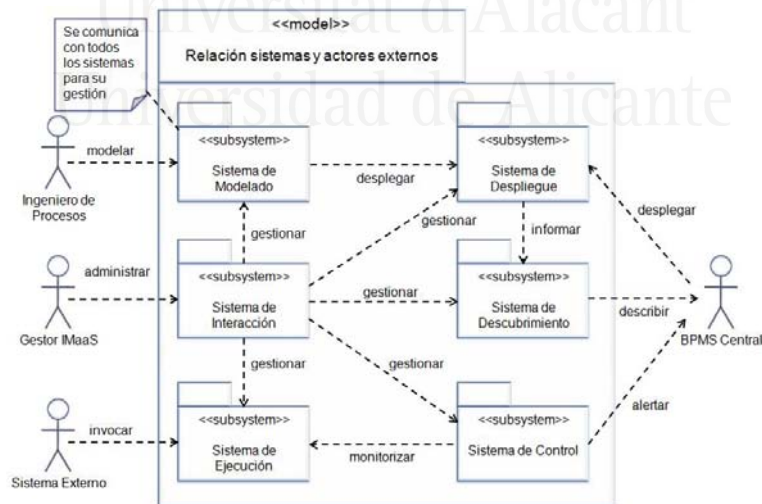


Figura 4.19. Relación entre los sistemas del modelo BPM y los actores externos.

Las siguientes fases del proceso tienen como objetivo identificar las funcionalidades y requerimientos característicos del entorno industrial, concretamente de la gestión de los procesos de fabricación, y comprobar si el modelo definido anteriormente carece de alguno de estos requisitos. En ese caso, se deberá redefinir alguno de los elementos del modelo o sus funcionalidades para contemplar dichas características sin apartarse de la visión y los fundamentos definidos por el modelo BPM.

Para ello, en la segunda fase se han identificado los requerimientos de gestión de procesos de fabricación de los nuevos modelos de producción que podrían contemplarse en el modelo propuesto de maquinaria industrial.

Las recomendaciones y necesidades de los nuevos modelos de producción se caracterizan por una mayor autogestión de los propios elementos ubicados en los niveles inferiores de las organizaciones manufactureras.

Los cambios en los futuros métodos de fabricación tienden a paradigmas distribuidos, con acoplamiento débil y autónomo e implican un incremento de la complejidad y la necesidad de responder al continuo cambio bajo una paulatina disminución de los costes. Para afrontar estos cambios se requiere funcionalidades adicionales como: flexibilidad, escalabilidad, agilidad o reconfiguración, mientras se mantienen procesos simples y transparentes (Lee *et al.*, 2004) (McFarlane & Bussmann, 2000).

Las tendencias en los nuevos enfoques de gestión de los procesos de fabricación tratan de automatizar estos aspectos dotando a la maquinaria de un mayor poder de decisión y autonomía en la gestión de sus procesos. La gestión de la producción en entornos físicamente distribuidos implica la necesidad de tomar decisiones a nivel local (McFarlane & Bussman, 2000), por lo que es necesario trasladar parte de la lógica de control y supervisión a la maquinaria industrial (Lee *et al.*, 2004). Además, la gestión debería ser auto-organizativa, estableciendo un comportamiento

reactivo y proactivo (McFarlane & Bussmann, 2000) para responder tanto a perturbaciones e inesperados cambios a corto plazo como para ser capaz de anticiparse y prepararse para situaciones críticas que impliquen desviarse de los objetivos estratégicos asociados a los procesos. Resumiendo, los requerimientos que se deben contemplar en la propuesta son:

- Flexibilidad, escalabilidad, agilidad y reconfiguración.
- Decisiones a nivel local.
- Lógica de control y supervisión a nivel local.
- Comportamiento reactivo y proactivo.

En la tercera fase se han identificado las recomendaciones y requerimientos de los modelos de gestión de la calidad en los procesos de fabricación para seleccionar aquellas que podrían incluirse en la maquinaria industrial y, de esta forma, contemplarlas en el modelo propuesto.

Uno de los aspectos más importantes relacionados con el funcionamiento de la maquinaria industrial y los procesos de fabricación que tienen lugar en ellas, es el control y la gestión de la calidad. El objetivo fundamental es reducir costes minimizando los errores y defectos en el producto y mejorar los procesos de manera continua para obtener una completa satisfacción del cliente con respecto al producto final.

En esta fase se ha analizado las principales propuestas de gestión de la calidad en el entorno industrial como son el enfoque de la calidad como cumplimiento de las especificaciones (del producto y del proceso), el enfoque de la calidad como mejora continua y el enfoque de la calidad como sistema. Se trata de técnicas complementarias que han permitido identificar las funcionalidades que se deberían incluir en la propuesta del modelo BPM de la maquinaria industrial para completar el sistema de gestión propuesto.

El primer enfoque, la calidad como cumplimiento de las especificaciones, se centra, en minimizar los errores y defectos en el producto antes de su llegada al cliente final.

Uno de los enfoques centrados en el cumplimiento de las especificaciones es la gestión de calidad centrada en el producto. Se fundamenta en la inspección y evaluación del producto, tanto en cada una de sus etapas y fases de fabricación como en su inspección al final de la línea a través del análisis de los puntos de inspección. Se trata de una técnica correctiva que en determinados momentos por sí sola no es suficiente y podría resultar demasiado cara, a no ser que se automatice la inspección. Esta técnica carece de capacidad predictiva y no permite actuaciones de control sobre el proceso durante la fabricación.

Mediante el otro enfoque centrado en el cumplimiento de las especificaciones, la gestión de la calidad centrada en el proceso, se resuelven parte de las carencias de la propuesta anterior. Se trata de una técnica complementaria a la anterior y se centra en la revisión del proceso en función de las especificaciones que definen su correcto funcionamiento con el objetivo de adelantarse a posibles fallos y errores en la fabricación del producto (enfoque predictivo). Sin embargo, al igual que en el caso anterior si las inspecciones no se hacen a través de mecanismo automatizados el proceso puede resultar muy costoso.

Las funcionalidades derivadas del análisis de ambos enfoques que debe contemplar el modelo BPM de la maquinaria industrial propuesto son:

- Evaluación e inspección del producto y del proceso.
- Controles parciales y finales.
- Técnicas correctivas y predictivas.
- Gestión de avisos y alertas de calidad.

En segundo lugar tenemos el enfoque de gestión de calidad como mejora continua. Este enfoque en lugar de establecer un sistema de inspección como en los casos anteriores se centra en orientar las actividades relacionadas con la calidad hacia el uso de técnicas preventivas y la satisfacción total de los clientes, incluyendo, tanto al usuario final, como al siguiente eslabón que

forma la cadena. De este enfoque la maquinaria industrial debe contemplar esa funcionalidad orientada a la prevención de errores tanto en el producto como en el proceso a partir de los requerimientos y objetivos estratégicos de la organización y, que han surgido como parte de la realimentación obtenida desde los clientes, internos y externos. Se trata de lograr la mejora continua de los procesos en función de los cambios del entorno.

- Monitorización de los indicadores del proceso.
- Análisis de los indicadores comparando las reglas de negocio de los procesos.
- Control mediante acciones preventivas.
- Gestión de avisos y alertas.

La gestión de calidad como sistema se centra en la aplicación de las normas y estándares de calidad a toda la organización. Desde este punto de vista la propuesta, únicamente, se centra en preparar el modelo para soportar cualquiera de las normas y sistemas de gestión de calidad, permitiendo instancias del modelo para cada una de ellas.

Resumiendo las etapas funcionales que se deberían tener en cuenta respecto a la gestión de calidad son:

- Captación de datos y resultado.
- Comparación de resultados y objetivos.
- Evaluación y valoración.
- Predicción, prevención y corrección.
- Gestión de avisos y alarmas.

En la última fase, se ha realizado un análisis y comparativa de las funcionalidades y requerimientos identificados en la gestión de procesos de fabricación y las funcionalidades identificadas en la definición inicial del modelo BPM de la maquinaria industrial. Finalmente, se han incluido aquellas funcionalidades que no habían sido contempladas en la primera fase, modelo BPM, y que

se han considerado indispensables en la gestión de los procesos de fabricación.

Tabla 4-2. Relación de funcionalidades del modelo BPM de la maquinaria industrial y los requerimientos de los nuevos modelos de producción.

Nombre del sistema	Funcionalidades del modelo BPM	Requerimientos de los nuevos modelos de gestión de los procesos de fabricación
Descubrimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Publicar procesos y subprocesos • Publicar actividades 	
Modelado	<ul style="list-style-type: none"> • Modelar procesos y subprocesos • Analizar procesos • Desplegar procesos 	
Despliegue	<ul style="list-style-type: none"> • Desplegar procesos y subprocesos • Desplegar reglas de negocio • Almacenar procesos y subprocesos • Almacenar reglas de negocio 	
Control	<ul style="list-style-type: none"> • Monitorizar procesos y actividades • Analizar información de procesos y actividades • Gestionar errores y excepciones • Gestionar recursos de procesos • Lanzar avisos y alarmas • Ejecutar medidas correctivas 	<ul style="list-style-type: none"> • Control y supervisión a nivel local
Interacción	<ul style="list-style-type: none"> • Mostrar información y estado de los procesos • Gestionar los procesos y actividades en ejecución • Configurar el sistema de gestión 	<ul style="list-style-type: none"> • Comportamiento reactivo y proactivo de la maquinaria industrial • Decisiones a nivel local • Escalabilidad • Flexibilidad • Agilidad • Reconfiguración
Ejecución	<ul style="list-style-type: none"> • Ejecutar procesos y actividades • Ejecutar reglas de negocio • Gestionar ciclo de vida de los procesos • Gestionar persistencia y estado de los procesos • Gestionar transacciones, seguridad y sincronización • Gestionar interacción de los procesos 	

En primer lugar, se ha realizado una comparativa entre las funcionalidades del modelo BPM incluidas en la maquinaria industrial y los requerimientos de los nuevos modelos de gestión de los procesos de fabricación. Para realizar dicha comparativa en la tabla 4-2 se presenta, de forma resumida, dichas funcionalidades y requerimientos.

La mayoría de los requerimientos identificados en el análisis de los nuevos modelos de producción son de carácter genérico y transversal e implican una mayor autonomía e inteligencia en la maquinaria industrial afectando a todos los sistemas del modelo. Esto implica, por un lado, que las funcionalidades del modelo BPM que se realizaban tradicionalmente de forma externa (modelado, análisis, etc.), en la presente propuesta se llevarán a cabo también a nivel local en la maquinaria industrial. Por otro

lado, conlleva trasladar las funcionalidades de los actuales sistemas de gestión de procesos de fabricación y de gestión de calidad identificadas en las fases anteriores a un ámbito local en la maquinaria industrial. Existen requerimientos que específicamente afectan al sistema de control como la necesidad de control y supervisión a nivel local y que ha sido resuelto con los requerimientos introducidos en la maquinaria industrial por el modelo BPM (subsistema de alerta y corrección). En adelante, todas las funcionalidades que se añadan al modelo, provenientes del resto de las comparativas, deben tener en cuenta estos requerimientos de los nuevos modelos de gestión de los procesos de fabricación.

Por otro lado, las características de flexibilidad, escalabilidad, agilidad y reconfiguración son recogidas como principios fundamentales como parte del sistema de ejecución, el sistema de modelado, el sistema de descubrimiento o el sistema de despliegue.

Algunas de las funcionalidades identificadas en la gestión de calidad de los procesos de fabricación (tabla 4-3) ya han sido contempladas, bien a través del proceso de normalización conceptual de los procesos de fabricación, o bien por las fases de identificación previas llevada a cabo en el presente proceso de normalización como las funcionalidades introducidas en la maquinaria industrial por el modelo BPM o las funcionalidades y requisitos derivados de los requerimientos de los nuevos modelos de gestión de procesos de fabricación.

En primer lugar, respecto a las funcionalidades identificadas en el enfoque de la calidad basado en las especificaciones, la evaluación de los puntos de inspección del producto y proceso es contemplado por el sistema de control gracias al proceso de correlación entre los procesos de negocio y los de fabricación llevado a cabo en el proceso de normalización conceptual de los procesos de fabricación que dio como resultado el mapa de procesos de la maquinaria industrial y contemplaba los puntos de inspección como indicadores clave del proceso.

Tabla 4-3. Relación de funcionalidades del modelo BPM de la maquinaria industrial y los requerimientos de la gestión de calidad de los procesos de fabricación.

Nombre del sistema	Funcionalidades del modelo BPM	Funcionalidades y requerimientos de la gestión de calidad en la fabricación
Descubrimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Publicar procesos y subprocesos • Publicar actividades 	
Modelado	<ul style="list-style-type: none"> • Modelar procesos y subprocesos • Analizar procesos • Desplegar procesos 	
Despliegue	<ul style="list-style-type: none"> • Desplegar procesos y subprocesos • Desplegar reglas de negocio • Almacenar procesos y subprocesos • Almacenar reglas de negocio 	
Control	<ul style="list-style-type: none"> • Monitorizar procesos y actividades • Analizar información de procesos y actividades • Gestionar errores y excepciones • Gestionar recursos de procesos • Lanzar avisos y alarmas • Ejecutar medidas correctivas 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar e inspeccionar el producto • Control parcial y final del producto • Ejecutar técnicas preventivas y correctivas • Gestión de avisos y alertas de calidad • Monitorización de los indicadores de proceso • Análisis de los indicadores y objetivos del proceso • Control predictivo de procesos de fabricación • Contemplar normas de calidad
Interacción	<ul style="list-style-type: none"> • Mostrar información y estado de los procesos • Gestionar los procesos y actividades en ejecución • Configurar el sistema de gestión 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar e inspeccionar el producto • Gestión de avisos y alertas • Monitorización de los indicadores de proceso • Control procesos y producto • Ejecutar técnicas correctivas
Ejecución	<ul style="list-style-type: none"> • Ejecutar procesos y actividades • Ejecutar reglas de negocio • Gestionar ciclo de vida de los procesos • Gestionar persistencia y estado de los procesos • Gestionar transacciones, seguridad y sincronización • Gestionar interacción de los procesos 	

En este caso, existen algunos aspectos que se deben añadir al sistema de control como los tipos de comportamiento en el análisis de los indicadores de los procesos.

Sin embargo, existen aspectos que se deben contemplar como los diferentes tipos de comportamiento en el análisis de los indicadores del proceso. El análisis correctivo está orientado a la mejora del proceso una vez se ha producido algún fallo o un valor del indicador no esperado. Por otro lado, el comportamiento predictivo se centra en analizar la información de los indicadores e inferir si a partir de dicha información se puede producir algún fallo en el proceso.

El resto de requerimientos han sido contemplados por los requerimientos de los actuales sistemas de gestión de procesos de fabricación.

En segundo lugar, el modelo BPM se fundamenta en la calidad y mejora de los procesos de forma continua con los mismos fundamentos y principios que el enfoque de la gestión de calidad centrado en la mejora continua y que fue analizado anteriormente. En este caso, sólo se debería contemplar el comportamiento preventivo del proceso orientado a rebajar el comportamiento correctivo mediante el establecimiento de rutinas de inspecciones periódicas sobre los indicadores que permitan solventar fallos antes de que ocurran.

Por último, ya se comentó que la calidad del sistema afectaba a las normas y estándares de calidad que la organización tenga implantadas y, en este sentido, el modelo propuesto es lo suficientemente flexible como para que se pueda adaptar a las políticas y metodologías del sistema elegido. Quizás no contempla el tipo de técnica preventiva en concreto, pero también queda resuelto con los requerimientos de los actuales sistemas de gestión de los procesos de fabricación.

En la figura 4-19 se muestra el diagrama de casos de uso del sistema de control modificado para contemplar dicha funcionalidad.

Como conclusión, el modelo BPM de la maquinaria industrial, por tanto queda definido por un lado, por el modelo estructural que identifica los sistemas que componen la propuesta y describe la relación entre ellos, el mapa de procesos de la maquinaria industrial y los agentes externos y, por otro lado, por el modelo de casos de uso que define la funcionalidad de cada uno de los sistemas (figura 4-20).

En el siguiente capítulo, utilizando como base el modelo obtenido, se describirá el proceso que permitirá eliminar las restricciones tecnológicas de la maquinaria industrial exponiendo el modelo como servicios y permitiendo lograr una arquitectura que permita validar la hipótesis de partida.

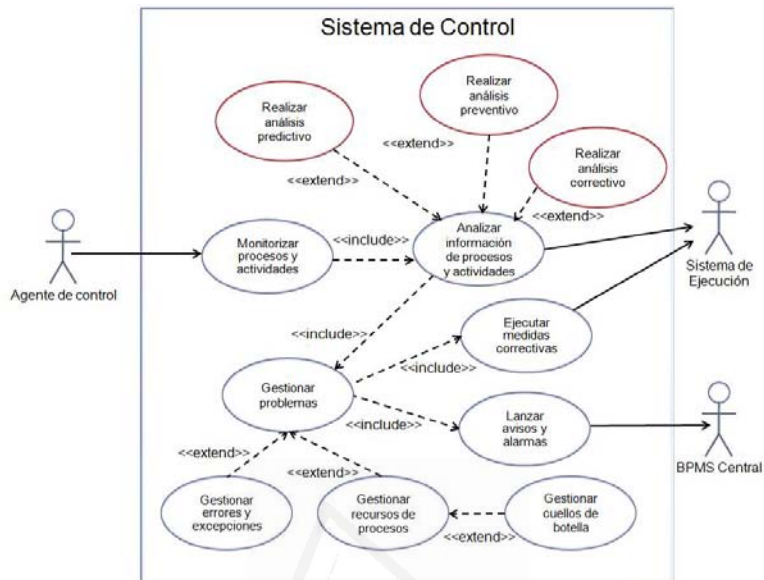


Figura 4-19. Diagrama de casos de uso del sistema de control.

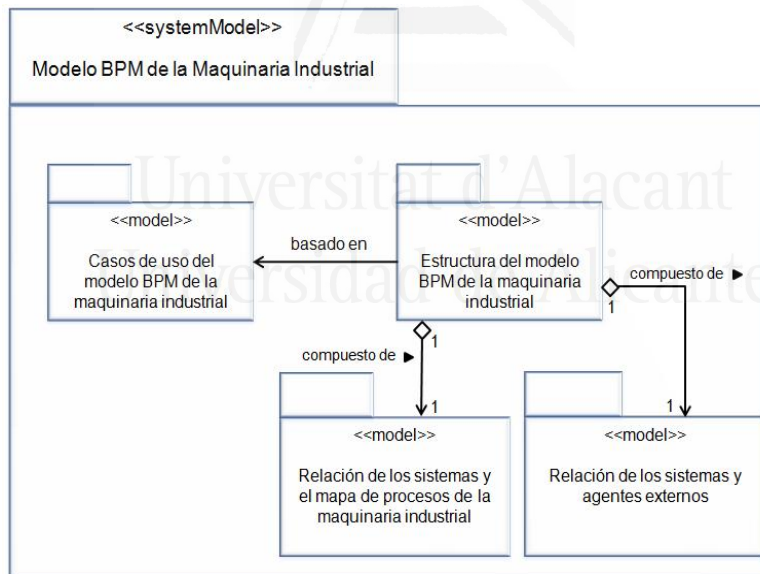


Figura 4-20. Relación de funcionalidades del modelo BPM de la maquinaria industrial y los requerimientos de gestión de los procesos de fabricación.

Capítulo 5

Normalización Tecnológica de la Maquinaria Industrial

En el capítulo anterior se describió el proceso de normalización conceptual de la maquinaria industrial que ha permitido eliminar una parte del problema que impedía la gestión integral de los procesos de negocio y fabricación de las organizaciones manufactureras conforme a los requerimientos de los nuevos modelos de negocio, es decir, se han eliminado las restricciones conceptuales.

El presente capítulo aborda *el proceso de normalización tecnológica de la maquinaria industrial* que tiene como objetivo resolver la otra parte del problema, eliminar las restricciones tecnológicas existentes entre el nivel de gestión y los elementos ubicados en los niveles inferiores de producción. Para ello se establecerá el marco tecnológico y arquitectónico adecuado que permitirá sustentar *el modelo BPM de la maquinaria industrial* obtenido en el capítulo anterior. Como resultado final del proceso se obtendrá una visión de la maquinaria industrial —lo que hemos definido como arquitectura IMaaS— como un sistema de gestión de procesos de negocio mostrados como servicios. Esta arquitectura estará, pues, libre tanto de las restricciones conceptuales como de las restricciones tecnológicas existentes hasta el momento.

En este capítulo se puede destacar tres aportaciones principales que serán desarrolladas en los siguientes apartados. En primer lugar, el método de normalización tecnológica de la maquinaria industrial permite de forma sistemática eliminar las restricciones tecnológicas existentes entre los procesos de negocio y los procesos de fabricación. Las otras dos aportaciones se derivan de las diferentes fases del proceso anterior. La primera consiste en la propuesta del modelo de servicios de la maquinaria industrial que expone su funcionalidad bajo el paradigma SOA pero independientemente de las tecnologías utilizadas para su implementación. La segunda consiste en la arquitectura IMaaS como propuesta realista para validar los modelos expuestos a lo largo del presente trabajo.

Proceso de Normalización Tecnológica de la Maquinaria Industrial

En el tercer capítulo se identificó como resultado de la fase de análisis de las tecnologías de soporte para los SGP en el entorno manufacturero que, el paradigma SOA es el modelo tecnológico más adecuado para sustentar un sistema BPM. De hecho, aunque tradicionalmente, *la gestión de procesos de negocio* (BPM) y *la arquitectura orientada a servicios* (SOA) han crecido como dos iniciativas independientes, en los últimos tiempos se ha demostrado el beneficio de la convergencia de ambos modelos (Harmon, 2005). Este enfoque ha permitido la alineación entre los procesos de negocio y las IT, obteniendo una propuesta en consonancia con los requerimientos fundamentales de los nuevos modelos de negocio, como la agilidad, flexibilidad, reducción de costes y eficiencia (Kamoun, 2007) (Harmon, 2005). Además, en la misma fase, al igual que se identificó la idoneidad de la sinergia entre el modelo BPM y el modelo SOA, se comprobó que los Servicios Web se han convertido en el verdadero impulsor de éxito del paradigma SOA dando lugar a lo que se ha denominado *SOA Contemporáneo* (Erl, 2005).

Sin embargo, estos paradigmas tecnológicos se caracterizan por tener un alto nivel de abstracción y por el elevado requerimiento computacional de las infraestructuras sobre las que se sustentan que, difícilmente pueden ser soportadas por los actuales dispositivos de fabricación.

La maquinaria industrial, en la cual se lleva a cabo la ejecución de los procesos de fabricación, se fundamenta en los principios de la mecánica y la electrónica y aunque existe maquinaria más moderna que incorpora en mayor o menor medida capacidad de comunicación y computación, las máquinas actuales no ofrecen la infraestructura necesaria para soportar las características de los paradigmas de computación distribuida mencionados. Por este motivo es necesario trasladar, a nivel tecnológico, la maquinaria industrial al dominio de las TIC.

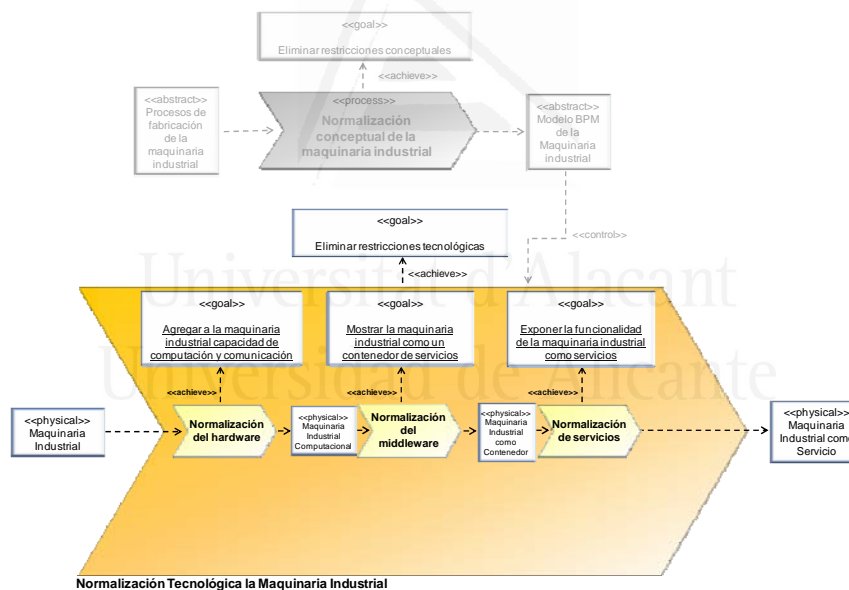


Figura 5-1. Proceso de Normalización Tecnológica de la Maquinaria Industrial.

En este sentido, el objetivo del *proceso de normalización tecnológica de la maquinaria industrial* (figura 5-1) es establecer la arquitectura tecnológica (*arquitectura IMaaS*) que permita sustentar el modelo presentado en el capítulo anterior eliminando las restricciones tecnológicas existentes entre los sistemas de

gestión TI ubicados en el nivel de empresa y la maquinaria industrial ubicada en los niveles inferiores de producción. De esta forma se aportará flexibilidad, dinamismo y autonomía a la maquinaria industrial.

Para lograr alcanzar su objetivo el proceso se ha dividido en tres subprocesos como se muestra en la figura 5-1. En primer lugar, *el proceso de normalización del hardware de la maquinaria industrial* tiene como objetivo dotar a la maquinaria industrial de las capacidades de comunicación y computación necesarias para sustentar el modelo de servicios de la maquinaria industrial. En segundo lugar, *el proceso de normalización middleware de la maquinaria industrial* tiene como objetivo mostrar la maquinaria industrial como un contenedor de servicios de soporte que permita sustentar la funcionalidad de carácter general del modelo BPM. Finalmente, *el proceso de normalización de servicios de la maquinaria industrial* tiene como objetivo exponer como servicios de aplicación la funcionalidad definida en el modelo BPM de la maquinaria industrial dependiente del dominio de aplicación.

Normalización del Hardware de la Maquinaria Industrial

Anteriormente se ha mencionado que el paradigma denominado SOA Contemporáneo es el enfoque más adecuado para llevar a cabo, desde el punto de vista tecnológico, el modelo BPM de la maquinaria industrial. Sin embargo, las infraestructuras TIC necesarias para soportar dicho paradigma son complejas y, actualmente, la maquinaria industrial carece de la base tecnológica necesaria sobre la que sustentar dicha propuesta.

En este sentido, el objetivo del proceso de normalización del hardware de la maquinaria industrial es dotar a la maquinaria industrial de la capacidad de comunicación y computación necesaria que asiente las bases para sustentar e introducir los paradigmas de computación distribuida ampliamente difundidos

con la evolución de Internet, en concreto el paradigma SOA mediante el uso de Servicios Web.

El proceso mencionado se ha modelado gráficamente mediante la notación de Eriksson-Penker como se muestra en la figura 5-2. Como se puede observar el proceso recibe como entrada la maquinaria industrial que ejecuta los procesos de fabricación. Se trata de un objeto de tipo físico, a diferencia de la entrada definida en el proceso de normalización conceptual visto en el capítulo anterior.

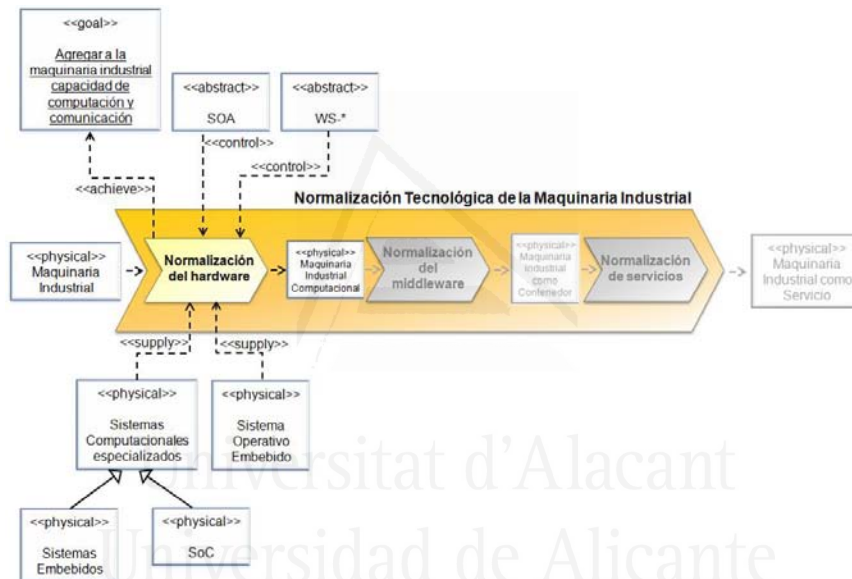


Figura 5-2. Proceso de Normalización del Hardware de la maquinaria industrial.

Como resultado del proceso se obtiene la propia maquinaria industrial utilizada como elemento de entrada del proceso pero con nuevas capacidades añadidas, la capacidad de comunicación y la de computación que permitirá sustentar la arquitectura de servicios. Al recurso obtenido como resultado del proceso se le ha denominado *Maquinaria Industrial Computacional*.

Para poder llevar a cabo el proceso de normalización del hardware de la maquinaria industrial se han definido diversos objetos de tipo suministro que será utilizado durante su aplicación para lograr el objetivo. Estos objetos son *los sistemas*

computacionales especializados, como dispositivos embebidos y System on Chips (SoC), y los sistemas operativos que permitan gestionar los recursos hardware de estos sistemas computacionales.

En este sentido, los avances que se han producido en los últimos años en la electrónica y las comunicaciones ha propiciado la aparición de dispositivos computacionales de carácter específico como los mencionados *dispositivos embebidos y los sistemas en chip* caracterizados por su robustez, sus pequeñas dimensiones y con un bajo coste y consumo que permiten la integración dentro de otros sistemas proveyéndoles de características adicionales que propicien la consecución de los requerimientos definidos, obteniendo lo que se comienza denominar dispositivos inteligentes (Catsoulis, 2005) (Gill & Hobday, 1999).

Otro de los recursos utilizados para lograr el objetivo del proceso son los sistemas operativos embebidos que serán utilizados para gestionar de forma eficiente los recursos de los sistemas computacionales específicos y servirán como base sobre la cual construir la arquitectura IMAaS de la maquinaria industrial.

Además, para lograr el objetivo del proceso evitando desviaciones del mismo se han identificado un conjunto de elementos de control encargados de guiar y conducir la ejecución del mismo. Estos elementos son *el paradigma SOA y los Servicios Web de segunda generación (WS-*)*. El paradigma SOA y las especificaciones de los Servicios Web de segunda generación controlarán el proceso definiendo los requerimientos tecnológicos mínimos de comunicación y computación que deberá contemplar la maquinaria industrial computacional.

Actualmente la maquinaria industrial se ofrece con una limitada capacidad de computación y comunicación que difícilmente puede dar soporte a los paradigmas emergentes de computación distribuida. En el ámbito de la fabricación actual se pueden contemplar una gran variedad de tipos de dispositivos en función de su complejidad computacional y capacidad de comunicación:

Los elementos de bajo nivel son dispositivos sin un sistema computacional basados principalmente en sistemas electrónicos de control mediante tecnología cableada. Se trata de dispositivos dotados de una interfaz de conexión más o menos compleja o configurable (CNC, PLC, maquinaria industrial) que permite el acceso y la gestión del dispositivo.

Los elementos de nivel medio están compuestos por la maquinaria industrial o elementos de control que tiene integrada una plataforma computacional. Esta plataforma no se basa en paradigmas complejos de las TIC y es una mera interfaz de alto nivel para acceder a la funcionalidad del dispositivo en cuestión. En este caso, la gestión se puede realizar de forma remota utilizando tecnologías TIC.

La normalización del hardware de la maquinaria industrial propone un enfoque centrado en dotar a dicha maquinaria, desde su creación, de las características necesarias para que puedan interactuar con el resto de sistemas de la organización a través de paradigmas orientados a servicios. Estas características son:

La capacidad de comunicación en red que permita la interacción con los sistemas de gestión TIC del nivel de empresa. En este sentido deberá contemplar tecnologías estándares tan extendidas como *Ethernet*, *TCP/IP*, etc.

La capacidad de procesamiento necesaria para dar soporte a los elementos y arquitectura software centrada en el paradigma SOA Contemporáneo.

En la figura 5-3 se ha modelado mediante UML la estructura conceptual de *la maquinaria industrial computacional* que se debe obtener como resultado del proceso.

En la propuesta presentada no sólo se enmarca el nuevo enfoque de la maquinaria industrial que podríamos denominar de alto nivel, si no que mediante la introducción de dispositivos externos se puede transformar la maquinaria y contemplar los tipos existentes en el mercado actual que se describieron anteriormente.

En el caso de la maquinaria de bajo nivel, para lograr los objetivos de la propuesta, es posible utilizar sistemas embebidos o SoC que aporten una plataforma mínima de computación y comunicación posibilitando la interacción con el resto de sistemas TIC de la organización. Para ello se parte de la base de que los elementos de producción contemplados deben tener algún mecanismo o interfaz de conexión mínima para acceder a su funcionalidad permitiendo la gestión y la configuración (puerto serie, paralelo, USB, Ethernet, etc.).

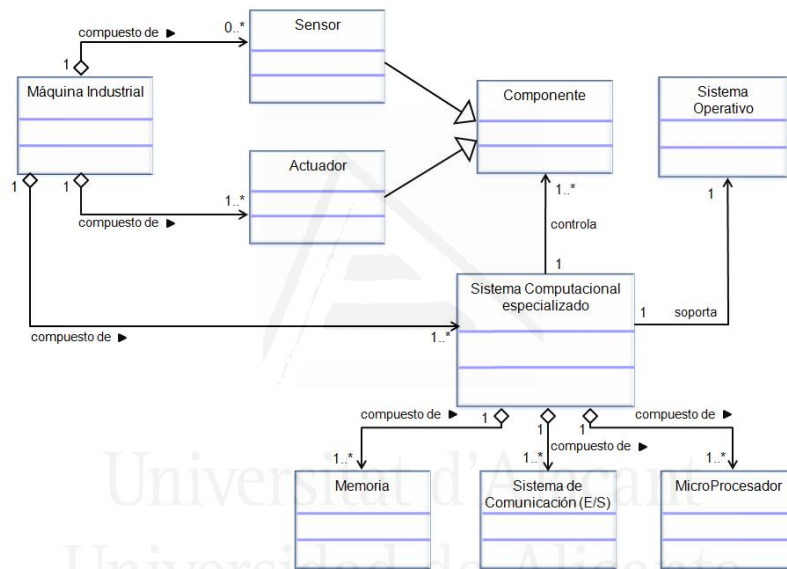


Figura 5-3. Modelo conceptual de la Maquinaria Industrial Computacional.

En el caso de la maquinaria de nivel medio, ésta ya cuenta con una plataforma base, y por tanto posee los requisitos mínimos que permiten interaccionar con el sistema. En cualquier caso si no se pudiera utilizar la plataforma software por tratarse de un sistema propietario o con capacidad de computación limitada se podría incorporar un dispositivo empotrado o SoC de la misma forma que en la maquinaria de bajo nivel.

Como resultado del proceso de normalización del hardware de la maquinaria industrial se ha obtenido lo que se ha denominado *Maquinaria Industrial Computacional* y que ha sido plasmada de forma conceptual en la figura 5-4. El resultado obtenido ayudará

a sentar las bases sobre las que sustentan el resto de la arquitectura IMAaaS que finalmente permitirá eliminar las restricciones físicas y tecnológicas características de la maquinaria industrial.

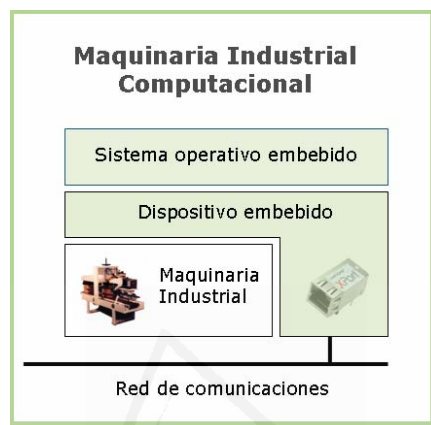


Figura 5-4. Arquitectura resultante de la Maquinaria Industrial Computacional.

Normalización del Middleware de la Maquinaria Industrial

A partir del concepto de *maquinaria industrial computacional*, en el que se han definido las infraestructuras TIC necesarias que debe incluir la maquinaria industrial para sustentar el paradigma SOA, se deben definir los servicios de infraestructura SOA conforme a los requerimientos del modelo BPM obtenido en el *proceso de conceptualización de la maquinaria industrial*.

En este sentido, *el proceso de normalización del middleware de la maquinaria industrial* tiene como objetivo introducir dicha infraestructura de servicios, que dote a *la maquinaria industrial computacional* de las características típicas de los modelos middleware y arquitecturas empresariales, en este caso, orientado al enfoque SOA Contemporáneo: flexibilidad, escalabilidad, interoperabilidad, reusabilidad, seguridad, transacciones, agilidad, dinamismo, etc. Como resultado del

proceso se obtiene la maquinaria industrial vista como un contenedor de servicios, *Maquinaria Industrial como Contenedor*, que proporciona la infraestructura adecuada, en términos de *servicios middleware* y *servicios de soporte*, a los servicios de aplicación que encapsularán la funcionalidad definida por el modelo BPM de la maquinaria industrial, *servicios de producción*. De esta forma la funcionalidad del sistema vendrá determinada por el software y no por el hardware, contribuyendo a la eliminación de las restricciones tecnológicas y sentando las bases que permitan contemplar el modelo BPM de la maquinaria industrial que eliminaba las restricciones conceptuales.

En la figura 5-5 se muestra *el proceso de normalización del middleware de la maquinaria industrial* modelado gráficamente mediante la notación de Eriksson-Penker. El proceso recibe como entrada la maquinaria industrial computacional obtenida en el proceso anterior. Se trata de un objeto de tipo físico que será refinado durante el proceso y permitirá obtener como resultado del proceso, a partir de los elementos de control y suministro, una nueva visión del objeto de entrada que incluye los servicios middleware necesarios para mostrar la maquinaria como un contenedor de servicios. Al objeto resultante, también de tipo físico, se le ha denominado *maquinaria industrial como contenedor*.



Figura 5-5. Proceso de Normalización del Middleware de la Maquinaria Industrial.

Para alcanzar su objetivo el proceso se ha dividido en dos subprocesos como se muestra en la figura 5-6. Por un lado, *el proceso de definición de servicios middleware SOA* identificará los

servicios de infraestructura característicos del paradigma SOA alineado con los requerimientos y necesidades del entorno industrial. En segundo lugar, *el proceso de definición de servicio middleware WS-** establecerá una correlación entre los servicios definidos en el proceso anterior y las especificaciones del paradigma de Servicios Web de segunda generación.

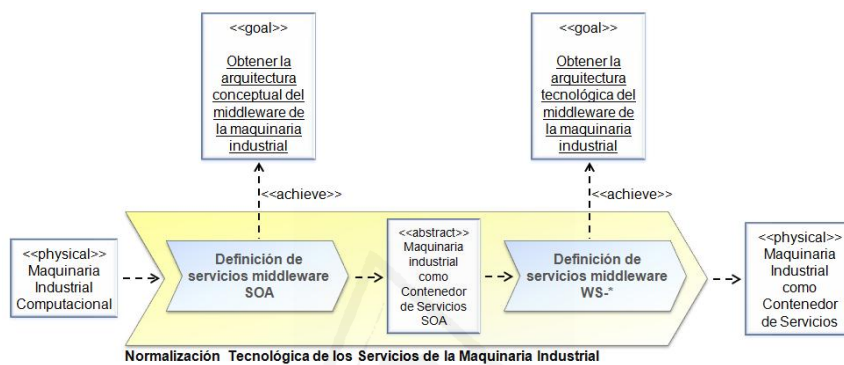


Figura 5-6. Subprocesos de Normalización del Middleware de la Maquinaria Industrial.

Proceso de Definición de Servicios Middleware SOA

Durante el presente trabajo se ha mencionado en diversas ocasiones las ventajas y beneficios del uso de SOA como enfoque tecnológico conceptual para soportar un sistema BPM. Este enfoque permite la alineación entre los procesos de negocio y las tecnologías de la información, obteniendo una propuesta en consonancia con los requisitos fundamentales en los nuevos modelos de negocio, como la agilidad, flexibilidad, reducción de costes y eficiencia (Kamoun, 2007) (Harmon, 2005). Además, otro aspecto importante que aporta SOA como infraestructuras tecnológica de BPM es la posibilidad de automatizar la ejecución de los procesos de una forma más eficiente (Jeston & Neils, 2006) entre todos los participantes del negocio, incluyendo los niveles inferiores de producción y sus elementos (la maquinaria industrial).

Este primer proceso tiene como objetivo sentar las bases de la arquitectura IMaaS presentado una visión independiente de la

tecnología. Para ello, se definirán las funcionalidades y características que debe contener la capa middleware de la maquinaria industrial (visualizada como contenedor de servicios) bajo el paradigma SOA siguiendo los requerimientos del modelo BPM de la maquinaria industrial. Esta visión conceptual de la arquitectura middleware de la maquinaria industrial servirá como base para llevar a cabo el siguiente proceso que establecerá la tecnología específica más adecuada para el presente momento, los Servicios Web de segunda generación.

A continuación, en la figura 5-7, se muestra mediante la notación de Eriksson-Penker el modelado del proceso de definición de los servicios middleware SOA. El proceso recibe como entrada la maquinaria industrial computacional sobre la cual se sustentará la capa middleware que establece las funcionalidades de la infraestructura desde un punto de vista conceptual independiente de la tecnología. Dichas funcionalidades se extraerán a partir de los fundamentos de los sistemas de computación distribuida y de los requerimientos de las arquitecturas empresariales centradas específicamente en el paradigma SOA en consonancia con las funcionalidades especificadas para *el modelo BPM de la maquinaria industrial*. Como resultado de este subproceso se obtendrá una vista previa de la maquinaria industrial como contenedor desde un punto de vista conceptual, *maquinaria industrial como contenedor SOA*.

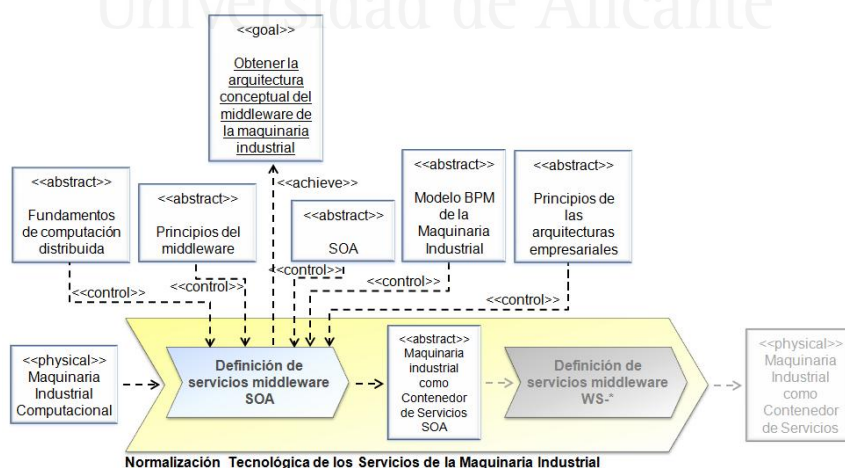


Figura 5-7. Proceso de Definición de Servicios Middleware SOA.

Para llevar a cabo el proceso se han definido un conjunto de recursos de control encargados de guiar el proceso para evitar desviaciones de su objetivo. Los objetos de control definidos son *el modelo BPM de la maquinaria industrial, los fundamentos de computación distribuida, los principios del middleware, los principios de las arquitecturas empresariales*, y, por último, *el paradigma SOA*.

El modelo BPM de la maquinaria industrial es el controlador principal del proceso. Se trata del patrón de referencia que guiará el proceso para mostrar la maquinaria industrial como un BPMS basado en SOA. En este proceso el controlador marcará las funcionalidades y servicios de la infraestructura middleware que sustentará la arquitectura IMaaS.

Los fundamentos de computación distribuida, los principios del middleware y los principios de las arquitecturas empresariales permitirán contemplar los aspectos fundamentales en la definición de los servicios middleware derivados del modelo BPM de la maquinaria industrial y definir la estructura general del contenedor de servicios incluido en la maquinaria industrial.

El paradigma SOA se presenta como un objeto de control responsable de refinar las funcionalidades y servicios identificados por los controladores anteriores e incluir aquellas que presenten a la maquinaria industrial como un contenedor de servicios pero respetando los requerimientos del modelo BPM de la maquinaria industrial.

En el paradigma SOA, un servicio es la unidad arquitectónica principal que representa una actividad o proceso de negocio o una aplicación funcional con las siguientes características: reusabilidad, composición, alto nivel de abstracción, con acoplamiento débil, descubrible, con contrato bien definido, interoperable, duradero y alineado con el negocio.

Sin embargo, los servicios no son aplicaciones independiente ejecutadas de forma autónoma si no que sólo tiene sentido dentro del contexto de otra aplicación denominada *contenedor de*

servicios que le proporciona el entorno necesario para soportar su ejecución. El contenedor proveerá para ello un conjunto de servicios que forman la infraestructura que sustenta los *servicios* SOA que se ejecutarán dentro de su contexto ofreciendo características de escalabilidad, rendimiento, disponibilidad, seguridad, confiabilidad e interoperabilidad.

La arquitectura conceptual propuesta para obtener la visión de maquinaria industrial como servicio se ha basado en el patrón arquitectónico *Service Layer* propuesto en (Erl, 2005). Dicho patrón define una serie de capas funcionales que clasifica los diferentes tipos de servicios en el modelo SOA. De esta forma, la arquitectura conceptual de la maquinaria industrial estará compuesta por *la capa de servicios de aplicación, la capa de servicios de negocio, la capa de servicios de orquestación y la capa de servicios de infraestructura* (figura 5-8).

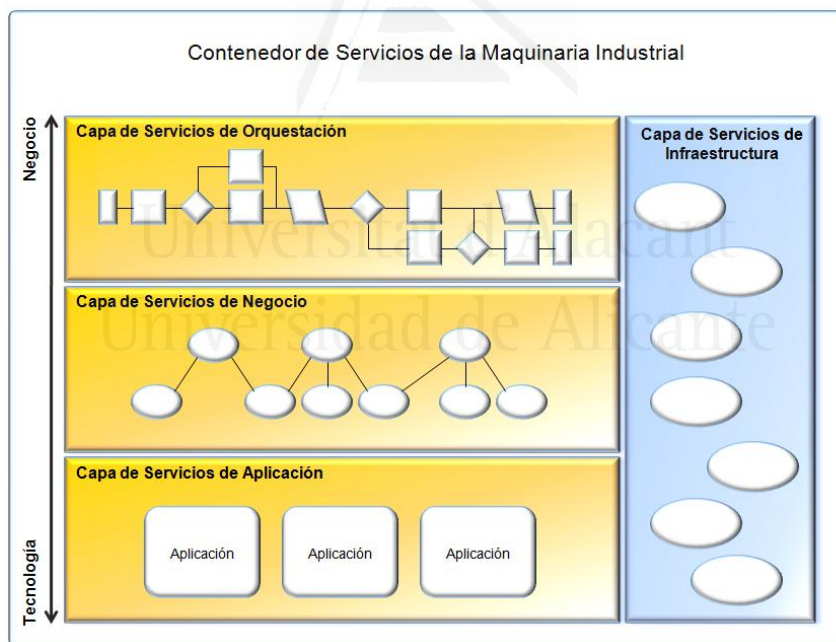


Figura 5-8. Proceso de Definición de Servicios Middleware SOA.

El presente proceso se centra en la definición de los *servicios de utilería* ubicados en la capa de infraestructura que se

corresponde con los servicios de soporte y middleware del contenedor de servicios de la maquinaria industrial y que serán consumidos por los servicios definidos en las otras capas. Estos *servicios de utilería* se caracterizan por tener un carácter agnóstico independientes del dominio de aplicación específico que se quiera reflejar. Se trata de servicios de tipo genérico y reusables válidos para cualquier aplicación. La mayoría de los servicios de utilería de la capa de infraestructura establecen el patrón de intercambio de mensajes petición-respuesta.

Una vez centrados en la capa de infraestructura, a partir de las especificaciones recogidas como casos de uso de los sistemas del *modelo BPM de la maquinaria industrial*, se han definido estos *servicios de utilería* que se deben contemplar en la maquinaria industrial para mostrarla como un contenedor de servicios SOA. En concreto, los sistemas involucrados en la definición de dichos servicios de infraestructura que darán soporte a la capa de aplicación son: *el sistema de descubrimiento, el sistema de despliegue y el sistema de ejecución*.

El proceso de identificación de servicios middleware SOA se ha recogido en *el modelo de análisis* utilizando la notación UML. El modelo se compondrá de las *realizaciones de los casos de uso* de los sistemas mencionados anteriormente, a partir de los cuales, se obtendrá los servicios de la capa de infraestructura o middleware de la arquitectura conceptual IMaaS.

En primer lugar, se ha analizado el modelo de casos de uso del sistema de ejecución que es el que más peso tiene a la hora de definir las funcionalidades de los servicios de utilería que componen la capa middleware de la maquinaria industrial como un contenedor.

Realización del caso de uso Invocar Proceso o Actividad (figura 5-9). El servicio de comunicación es el responsable de llevar a cabo las funcionalidades del caso de uso invocar proceso o actividad. El servicio define las funcionalidades necesarias para que los servicios SOA que representan actividades o procesos de negocio puedan ser invocados a través de la red por otros

servicios SOA o clientes externos abstrayéndoles de las peculiaridades y las características propias de la comunicación en los sistemas distribuidos. Este está compuesto por una interfaz de acceso responsable de la recepción de peticiones remotas a servicios o procesos, una interfaz de tipo API que permite el uso de su funcionalidad de forma local y un gestor de comunicación responsable de la abstracción de todas las peculiaridades surgidas en el proceso de comunicación de sistemas distribuidos (transmisión e interpretación de la información, serialización, gestión de la conexión, invocación de la lógica de negocio de actividades, etc.).

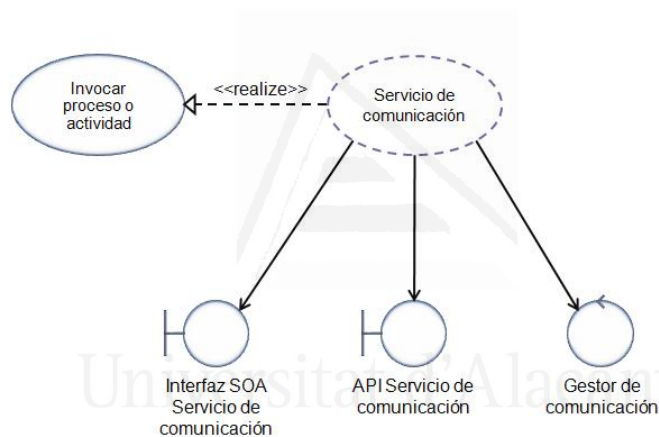


Figura 5-9. Realización de caso de uso Invocar Proceso o Actividad.

Realización del caso de uso Gestionar Interacción (figura 5-10). La interacción entre los diferentes servicios implica el establecimiento de la comunicación entre los servicios implicados y la coordinación de los mensajes basándose en primitivas de mayor nivel de abstracción como el modelo MOM o primitivas más simples expuestas por el servicio de comunicación. Estas funcionalidades son llevadas a cabo por el *servicio de mensajería* que se compone de dos interfaces, una SOA y otra tipo API, que permiten usar las funcionalidades del servicio para establecer la comunicación, un gestor de mensajería responsable de hacer

transparente dicha comunicación y de la gestión de los mensajes y una entidad mensaje que representa la información de estado de dichos mensajes. Este servicio utiliza por debajo las primitivas de intercambio de mensajes definidas por el servicio de comunicación.

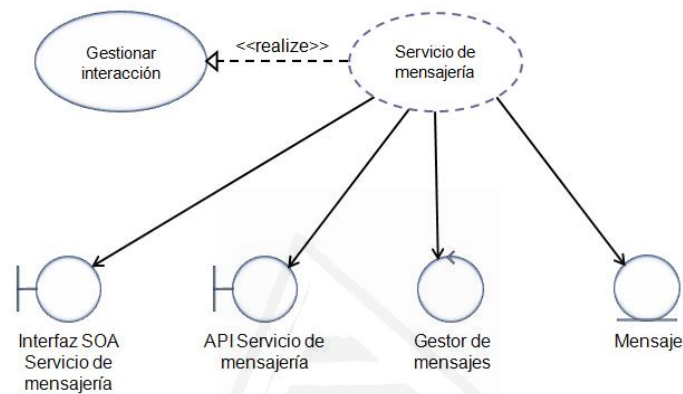


Figura 5-10. Realización de caso de uso Gestionar Interacción.

Realización del caso de uso Gestionar ciclo de Vida (figura 5-11). El caso de uso gestionar el ciclo de vida de un proceso o actividad es llevado a cabo por el *servicio de gestión* y está compuesto por una interfaz SOA que permite la gestión de forma remota, por una interfaz API para el acceso a su funcionalidad de forma local y por el gestor del ciclo de vida responsable de gestionar el ciclo de vida de los servicios a través de sus diferentes estados, su persistencia y su monitorización. Además, es responsable de la gestión de las instancias de los servicios invocados para evitar la sobrecarga del sistema debido al exceso de recursos implicados. La entidad servicio refleja el estado de los mismos.

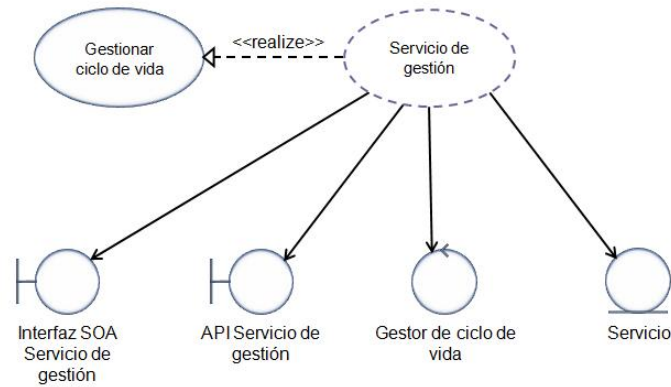


Figura 5-11. Realización de caso de uso Gestionar Ciclo de Vida.

Realización del caso de uso Gestionar Transacciones. Para llevar a cabo el caso de uso se ha definido el servicio de transacciones compuesto por los siguientes artefactos: una interfaz de acceso al servicio mediante el paradigma SOA, una interfaz de programación de aplicaciones (API), el gestor de transacciones y la entidad transacción (figura 5-12).

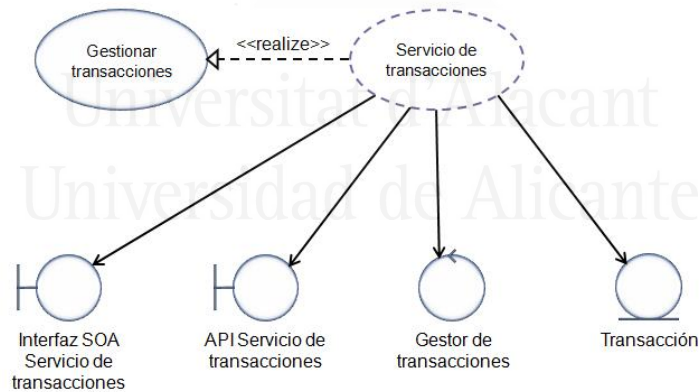


Figura 5-12. Realización de caso de uso Gestionar Transacciones.

El gestor de transacciones encapsula la lógica de negocio necesaria para gestionar los cambios realizados sobre el sistema por las operaciones implicadas en la transacción evitando éste pueda permanecer en un estado de inconsistencia, y, en caso de llegar a esta situación debe ser capaz de recuperar el sistema devolviéndole a un estado estable. *La entidad transacción*

representa conceptualmente la información de estado de las transacciones y cómo ésta es almacenada de forma persistente. Esta será utilizada por el gestor de transacciones para llevar a cabo su cometido.

Realización del caso de uso Gestionar Sincronización (figura 5-13). La realización del caso de uso gestionar sincronización es llevada a cabo por el servicio de tiempo compuesto por una interfaz SOA que permite el acceso al servicio por parte de otros servicios, una interfaz API que permite interactuar con el servicio de forma local y el gestor de tiempo responsable de la sincronización de tiempo del sistema.

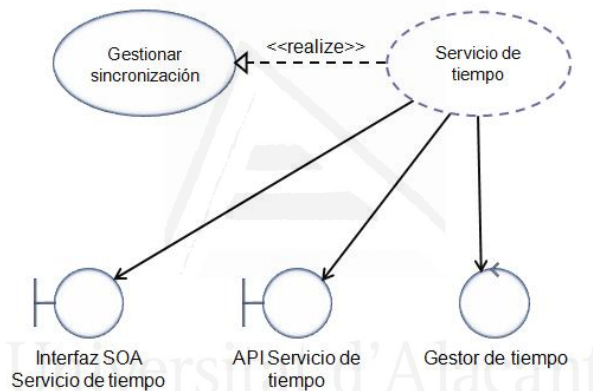


Figura 5-13. Realización de caso de uso Gestionar Sincronización.

Realización del caso de uso Gestionar Estado y Persistencia (figura 5-14). El caso de uso gestionar estado y persistencia será realizado por el servicio de persistencia que se compone de dos interfaces, una interfaz SOA y otra de programación de aplicaciones que permite la comunicación con entidades locales y remotas, el gestor de persistencia y las entidad que representa a las propias entidades y sus estados.

La principal función del gestor de persistencia es dar soporte y gestionar los artefactos de tipo entidad. Ofrece una capa de abstracción que permite la sincronización y manejo entre los elementos entidad y la información que representan y que se

encuentra almacenada físicamente y, que a través de estos, será expuestas al resto de los servicios.

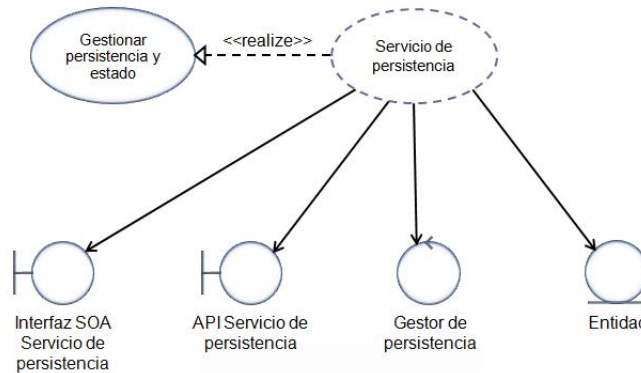


Figura 5-14. Realización de caso de uso Gestionar Persistencia y Estado.

Realización del caso de uso Gestionar Seguridad (figura 5-15). El servicio de seguridad será el responsable de la realización del caso de uso Gestionar Seguridad. El servicio de seguridad está formado por una interfaz SOA, una interfaz de programación de aplicaciones, el gestor de seguridad que encapsula la lógica de negocio necesaria para coordinar y gestionar las funcionalidades de autenticación y autorización de acceso y la encriptación de mensajes y los artefactos de entidad usuario y rol establecerán los permisos de identificación y acceso a las funcionalidades del sistema y serán usadas por el gestor de seguridad.

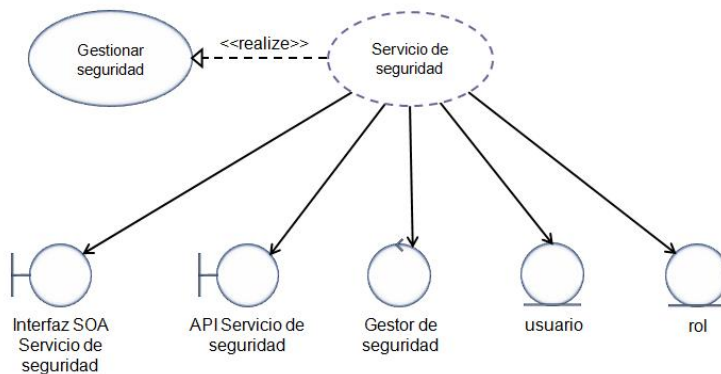


Figura 5-15. Realización de caso de uso Gestionar Seguridad.

Realización del caso de uso Ejecutar Proceso (figura 5-16). Como se comentó anteriormente, un proceso en SOA es representado por un servicio abstracto que representa la orquestación de otros servicios, que a su vez representan actividades o subprocesos. En este sentido, el caso de uso ejecutar proceso es llevado a cabo por un servicio de orquestación responsable de coordinar el flujo de trabajo definido por el proceso y el intercambio de mensajes entre los diferentes servicios que lo forman. El servicio se compondrá de una interfaz de tipo SOA para invocar al servicio, normalmente a través del servicio de comunicación que delegará la ejecución del proceso, el gestor de orquestación responsable de analizar la petición y ejecutar el proceso asociado, coordinar el flujo de trabajo del proceso controlando la interacción entre los diferentes servicios a través de los servicios de comunicación, de mensajería, de transacciones, etc., y los artefactos de entidad variable, mensaje y estado del proceso.

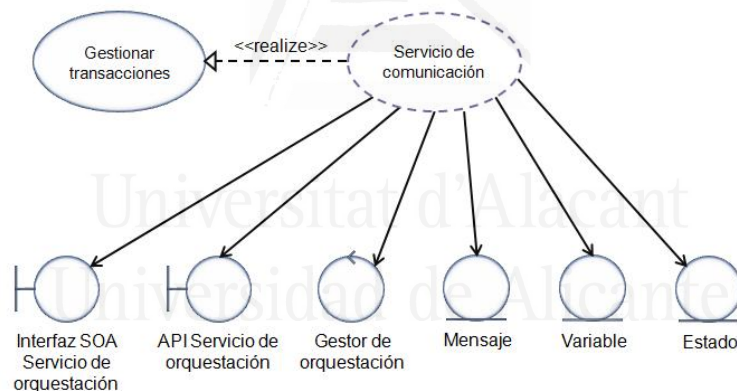


Figura 5-16. Realización de caso de uso Gestionar Ejecución de Proceso.

Realización del caso de uso Ejecutar Reglas de Negocio (figura 5-17). El servicio de reglas se encarga de la realización del caso de uso *Ejecutar reglas de negocio*. Este servicio se ha modelado gráficamente mediante una colaboración uml compuesta de los siguientes artefactos: la interfaz SOA del servicio de reglas, la interfaz de programación de aplicaciones, el gestor de reglas de negocio y la entidad reglas de negocio.

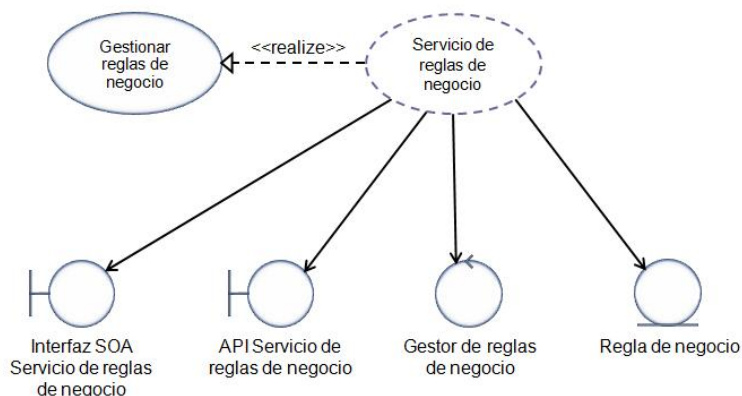


Figura 5-17. Realización de caso de uso Gestionar Reglas de Negocio.

El gestor de reglas de negocio se encarga de la ejecución de las reglas de negocio, así como de la coordinación y control de las mismas. El gestor de reglas interactuará con la entidad regla de negocio para obtener las reglas que debe ejecutar. La entidad regla de negocio representa la información sobre la regla significativa para el servicio y expone las operaciones y primitivas para su gestión.

Otro de los sistemas definidos en el modelo BPM de la maquinaria industrial que ha servido para establecer los servicios de utilería es el sistema de descubrimiento.

Realización del caso de uso Publicar Procesos y Subprocesos (figura 5-18). *El servicio de descubrimiento* es el responsable de la realización de este caso de uso. Este servicio se compone del agente de descubrimiento responsable de publicar toda la información de los procesos y actividades existentes en la maquinaria industrial y de las entidades que representan la información que se va a publicar como la entidad proceso, y actividad. El agente debe detectar el momento en el que la maquinaria se conecta a la red y comenzará su proceso de publicación. Antes de desconectarse de la red deberá asegurarse que ningún consumidor pueda acceder a sus servicios por no ser accesible.

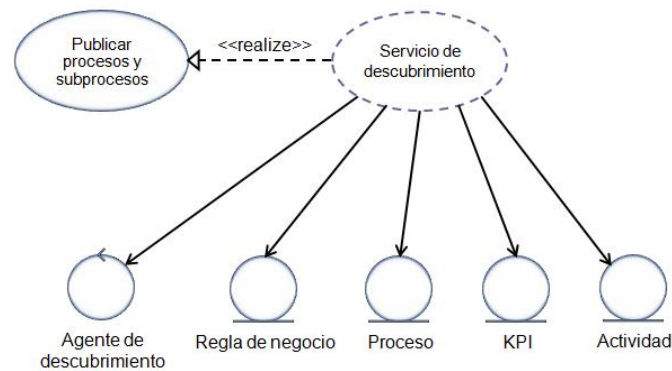


Figura 5-18. Realización de caso de uso Publicar Procesos y Subprocesos.

Por último, a partir del sistema de despliegue se ha definido otro de los servicios de utilidad más importantes de la arquitectura.

Realización del caso de uso Desplegar Procesos y Subprocesos (figura 5-19). La funcionalidad del caso de uso desplegar procesos y subprocesos es realizada por el *servicio de despliegue* que se compone de una interfaz SOA que permite interactuar con el servicio de forma remota, una interfaz de programación de aplicaciones para su uso de forma local, el gestor de despliegue responsable de analizar la petición que recibe y almacenar la información correspondiente a los procesos y actividades, las reglas de negocio y los indicadores claves del procesos que miden la consecución de los objetivos a través de las entidades proceso, actividad, regla de negocio y KPI.

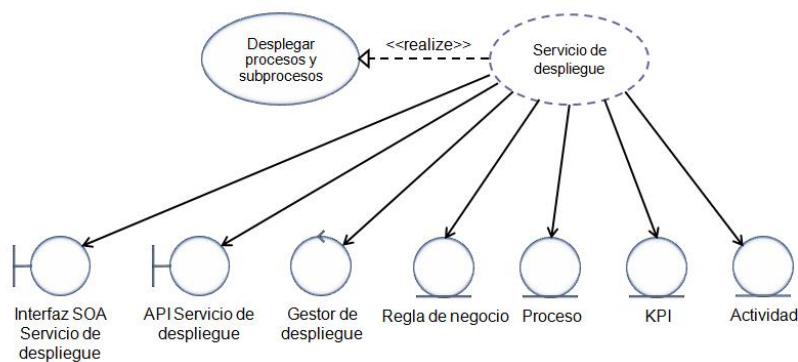


Figura 5-19. Realización de caso de uso Desplegar Procesos y Subprocesos.

Como resultado del proceso en la figura 5-20 se muestra la arquitectura conceptual de la maquinaria industrial como contenedor que servirá como recurso de entrada al siguiente proceso.

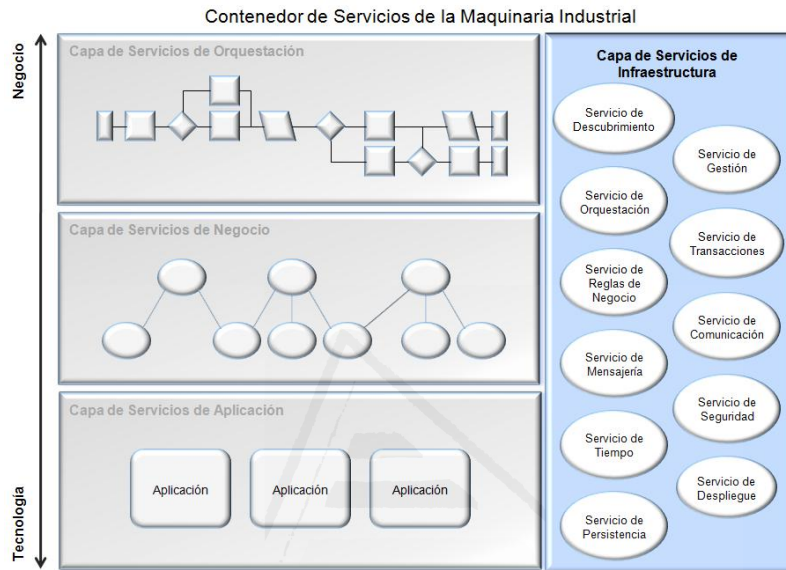


Figura 5-20. Servicios de la capa de infraestructura.

Proceso de Definición de Servicios Middleware WS-*

Al igual que se ha demostrado la idoneidad de la sinergia entre el modelo BPM y el modelo SOA, existe un paralelismo entre el paradigma SOA y el de Servicios Web de segunda generación que, como mencionamos anteriormente, se ha definido como el modelo *SOA Contemporáneo* (Erl, 2005) y ha sido el verdadero impulsor tanto del modelo BPM como de SOA.

De esta forma, el proceso de definición de servicios middleware WS-* tiene el mismo objetivo que el proceso que le precede, pero con la diferencia que, en este caso, el resultado obtenido se presenta con un enfoque dependiente de la tecnología, en concreto, de los Servicios Web de segunda generación.

El proceso de definición de servicios middleware WS-*, modelado gráficamente en la figura 5-21 mediante la notación Eriksson-

Penker, recibe como entrada a la maquinaria industrial como contenedor SOA obtenida en el proceso anterior y, mediante los diferentes elementos de control y de suministro, se realizará una correlación con las especificaciones y estándares de Servicios Web de segunda generación transformando dicho elemento físico y obteniendo como resultado lo que se ha denominado *maquinaria industrial como contenedor de servicios*.

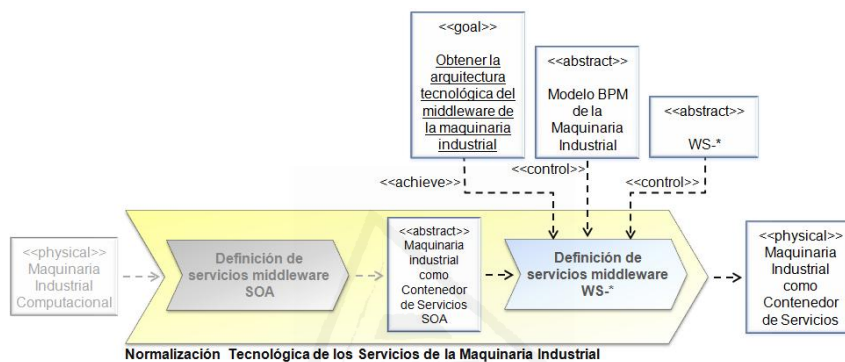


Figura 5-21. Proceso de Normalización del Middleware.

Como en el resto de procesos es necesario la definición de un conjunto de elementos de control que guíen y permita ejecutar el proceso conforme a los objetivos especificados.

En primer lugar, los elementos de control definidos para evitar desviaciones de los objetivos del proceso son el modelo BPM de la maquinaria industrial y las especificaciones WS-*.

El modelo BPM de la maquinaria industrial controlará el proceso evitando el desvío de las funcionalidades definidas a la hora de seleccionar las especificaciones y estándares WS-*.

Para llevar a cabo el proceso y lograr su objetivo se han definido cuatro etapas. En la primera etapa a partir de los servicios middleware obtenidos como resultado del proceso anterior se han identificado las especificaciones WS-* que abordan dicha funcionalidad. Debido a la existencia de múltiples estándares y especificaciones que abordan la misma problemática, en la segunda fase, se debe realizar una selección de los estándares y

especificaciones WS-* identificados anteriormente. En tercer lugar, se ha de identificar aquellas funcionalidades que habiendo sido incluidas como servicios middleware en la etapa anterior no tienen un estándar o especificación correspondientes en el marco de los Servicios Web de segunda generación. Finalmente, se debe realizar un proceso de estructuración de todas las especificaciones y propuestas para obtener como resultado la arquitectura del contenedor IMaaS.

En primer lugar, se ha realizado un estudio que ha permitido identificar las especificaciones y los estándares WS-* más extendidos relacionados con las funcionalidades y servicios middleware y de soporte definidos, desde un punto de vista conceptual, en el proceso anterior. Para ello se han analizado las propuestas de las principales organizaciones y empresas multinacionales como el *Object Management Group* (OMG, 2010), el consorcio internacional OASIS (OASIS, 2010), el consorcio *World Wide Web* (W3C, 2010), la organización industrial de estándares DMTF (DMTF, 2010) y las multinacionales IBM, Microsoft, SUN y Tibco. En la tabla 5-1 se muestra el resultado obtenido de dicha etapa.

Tabla 5-1. Extensiones WS-* asociadas a los servicios middleware.

Servicios middleware de la maquinaria industrial como contenedor SOA	Especificaciones y estándares WS-*
Servicio de Comunicación	HTTP, HTTPMU, XML, SOAP, MTOM, SwA, DIME, WS-SOAPOverUDP
Servicio de Transacción	WS-Transaction, WS-BusinessActivity, WS-AtomicTransaction, WS-CAF, WS-Context, WS-Coordination
Servicio de Mensajería	WS-Eventing, WS-Notification, WS-BaseNotification, WS-BrokeredNotification, WS-Topics, WS-Reliability, WS-ReliableMessaging, WS-Addressing, WS-MessageDelivery
Servicio de Descubrimiento	UDDI, WSIL, WS-Discovery
Servicio de Orquestación	WS-BPEL, XPDL, BPML
Servicio de Persistencia	--
Servicio de Gestión de Reglas	--
Servicio de Seguridad	HTTPS, WS-Security, WS-SecurityPolicy, WS-SecureConversation, WS-Trust, WS-Authorization, WS-XACML
Servicio de Gestión	WSDM, WS-Management, WS-ResourceFramework, WS-Transfer
Servicio de Tiempo	--
Servicio de Despliegue	--

A partir de las especificaciones definidas en la tabla anterior se ha hecho una selección de los mismos conforme a los criterios de madurez, robustez, estandarización, integración y compatibilidad entre dichas especificaciones, aceptación del mercado y expectativas de futuro (tabla 5-2).

Tabla 5-2. Extensiones WS-* seleccionadas para la arquitectura IMaaS.

Servicios middleware de la maquinaria industrial como contendor SOA	Especificaciones y estándares WS-*
Servicio de Comunicación	HTTP, XML, SOAP
Servicio de Transacción	WS-Transaction, WS-BusinessActivity, WS-AtomicTransaction
Servicio de Mensajería	WS-Notification, WS-ReliableMessaging, WS-Addressing
Servicio de Descubrimiento	UDDI
Servicio de Orquestación	WS-BPEL
Servicio de Persistencia	--
Servicio de Gestión de Reglas	--
Servicio de Seguridad	HTTPS, WS-Security, WS-XACML
Servicio de Gestión	WSDM, WS-Management, WS-ResourceFramework, WS-Transfer
Servicio de Tiempo	--
Servicio de Despliegue	--

En primer lugar, se han seleccionado los protocolos y estándares de comunicación sobre los que se sustentarán el resto de los servicios de la *arquitectura IMaaS* y cuyo objetivo es hacer transparente la comunicación con el resto de los elementos de la organización.

El principal protocolo de transporte utilizado en la pila de protocolos de Servicios Web es SOAP sobre el cual se sustentan el resto de protocolos. SOAP, propuesto por el W3C (SOAP, 2007), permite el intercambio de información estructurada mediante el lenguaje XML facilitando la interoperabilidad entre diferentes plataformas y lenguajes. SOAP puede hacer uso de los diversos protocolos de la capa de aplicación como mecanismo de transporte para la transmisión de la información como SMTP o HTTP.

En la *arquitectura IMaaS* se utilizará HTTP como protocolo de transporte de los mensajes SOAP por ser el más extendido y el

más aceptado estándar de Internet hoy en día, lo que facilitará la compatibilidad con el resto de sistemas. Esto ha permitido que pueda ser utilizado para integrar aplicaciones B2B sin para ello tener que realizar operaciones de configuración sobre los cortafuegos existentes en el entorno.

Aunque en la presente propuesta no se ha contemplado la especificación MTOM, en un futuro podría incluirse en la arquitectura con el objetivo de posibilitar y optimizar el intercambio de contenido en formato binario (planos de diseño CAM, etc.).

En la tabla 5-2 se ha identificado las principales especificaciones y estándares WS-* relacionadas con las funcionalidades del servicio de transacciones. Como se describió en el estado del arte existían dos enfoques que abordaban este aspecto, el primero formado por los estándares WS-Coordination y WS-Transaction y, el segundo formado por el estándar WS-Context, el estándar WS-CoordinationFramework y el estándar WS-TransactionManagement.

Aunque en el futuro, desde OASIS, se pretende realizar una propuesta que englobe los dos enfoques mencionados, para definir la arquitectura IMaaS de la presente tesis, se ha seleccionado la primera de las propuestas descritas debido a su madurez, compatibilidad con otras especificaciones y su amplia aceptación que ha propiciado un mayor número de implementaciones en el mercado.

En el servicio de mensajería se debe cubrir dos funcionalidades, la notificación de mensajes y la confiabilidad de entrega de los mensajes. En el primer caso, Existen dos propuestas dentro de las especificaciones WS-* que abordan el modelo de intercambio de mensajes basado en el patrón publicación/suscripción y cubren las funcionalidades requeridas por el servicio de mensajería de la arquitectura IMaaS. Son las formadas por la especificación WS-Eventing y por la especificación WS-Notification. En la presente propuestas debido a la dependencia de otras especificaciones más acorde con el propósito de la

arquitectura IMaaS, como la especificación de gestión WSDM, se ha optado por el estándar WS-Notification.

En el segundo caso, la confiabilidad en la entrega del mensaje, existen dos propuestas en la familia de especificaciones WS-* como son WS-Reliability y WS-ReliableMessaging. Aunque ambas cubren prácticamente los mismos aspectos para garantizar la calidad de servicio en la entrega del mensaje ante fallos y son gestionadas por la misma organización, OASIS, la especificación WS-ReliableMessaging cuenta con un mayor apoyo y ha logrado imponerse a la otra especificación. Por este motivo se ha elegido para la arquitectura propuesta.

El estándar WS-Addressing y el WS-MetaDataExchange se han incluido en la arquitectura porque la mayoría de las extensiones se sustentan sobre ellas como es el caso de las especificaciones de mensajería vistas anteriormente o de seguridad y definición de políticas.

Para llevar a cabo la funcionalidad del servicio de orquestación existen diversas propuestas y al igual que en los casos anteriores existen distintas corrientes que abogan por los beneficios de unas u otras especificaciones. Actualmente, WS-BPEL es considerado el estándar de facto en la orquestación de servicios y cubre las funcionalidades requeridas para la arquitectura IMaaS.

Anteriormente, se definieron las funcionalidades mínimas del servicio de seguridad como son la identificación, autenticación y autorización de acceso y confiabilidad e integridad de la información intercambiada. Aunque existen multitud de especificaciones WS-* que abordan aspectos muy concretos de seguridad el estándar WS-Security (autenticación, confiabilidad e integridad) y la especificación WS-XACML (autorización) cubren las funcionalidades del servicio de seguridad mencionadas. WS-Security está compuesto por múltiples perfiles y para la arquitectura IMaaS sólo se plantea el uso de *UserName Token Profile* que aborda la identificación y la autenticación. Debido a penalización de rendimiento que implica el uso de WS-Security para la encriptación de mensajes es aconsejable el uso de HTTP

sobre SSL como se indica en (Sosnoski, 2009). La especificación WS-XACML puede integrarse con la especificación WS-Policy si se quieren agrupar políticas de varios dominios pero también puede usarse de forma independiente.

Como se comentó en el estado del arte, si bien, tanto la propuesta WS-Management como la WSDM abordan la gestión de recursos mediante Servicios Web, la única que describe la gestión de los propios Servicios Web como tal es la especificación WSDM a través de su perfil WSDM. Por este motivo, para llevar a cabo la funcionalidad del servicio de gestión se ha seleccionado la especificación WSDM en lugar de WS-Management.

En la arquitectura se ha incluido una especificación de la que depende el WSDM como es el estándar WS-ResourceFramework.

Las funcionalidades del servicio de descubrimiento van a ser llevadas a cabo en la arquitectura IMaaS a través de la especificación UDDI. WS-Discovery es una de las especificaciones que más auge está alcanzando para el descubrimiento de servicios de forma dinámica y, está recomendado sobre todo para entornos controlados de red donde sería necesaria la configuración de *proxys* para poder interactuar con otros dominios. Aunque para la presente propuesta podría ser una solución adecuada y no se descarta tenerla en cuenta en un futuro, se ha optado por el uso de UDDI utilizando un registro de servicios centralizado que no sólo permita descubrir los servicios de la maquinaria IMaaS y de los sistemas TI del entorno, si no también dar la posibilidad de interactuar con servicios de socios externos o de la organización pero ubicados en diferentes localizaciones geográficas. Al servicio de descubrimiento UDDI definido para la arquitectura IMaaS se le ha dotado de la funcionalidad necesaria para proveer un descubrimiento dinámico al igual que en el caso del WS-Discovery pero utilizando un mediador (broker) para su descubrimiento y localización. WSIL se ha descartado porque a pesar de tener un mismo objetivo conceptual que UDDI, introduce mayor acoplamiento entre el proveedor de servicio y los consumidores.

Como consecuencia del estudio realizado se ha detectado que no existen propuestas dentro de las especificaciones WS-* que cubran las funcionalidades definidas por *el servicio de despliegue*, *el servicio de reglas de negocio*, *el servicio de persistencia* y *el servicio de tiempo* (tabla 5-2). Además como se ha mencionado el servicio de descubrimiento se basa en el estándar UDDI pero se le ha dotado de funcionalidades similares a WS-Discovery para automatizar la publicación y localización de servicios. En esta fase se detallan cada una de las propuestas para cubrir estos servicios definidas como aplicaciones ad-hoc o propuestas realizadas en el ámbito de la investigación pero, que en la actualidad, no tienen el respaldo de las principales organizaciones y comunidades TI. En un futuro podrían sustituirse por nuevas especificaciones gracias a la modularidad de la propuesta o incluso llegar a definir una especificación desde la propia propuesta realizada en el presente trabajo.

El servicio de descubrimiento, encargado de realizar las funcionalidades del sistema de descubrimiento del modelo BMP de la maquinaria industrial (figura 4-10), estaba formado, desde el punto de vista conceptual, por los artefacto de control *agente de descubrimiento* y las entidades *proceso* y *actividad*. Las modificaciones que se han realizado para dotar de proactividad y automatización al servicio de descubrimiento basado en el estándar UDDI afecta únicamente al agente de descubrimiento como se describe a continuación.

El agente de descubrimiento (figura 5-22) es el servicio responsable de coordinar todo el proceso de descubrimiento contemplando las funcionalidades de publicación de la información completa sobre los procesos y actividades expuestos como servicios orquestados y atómicos en el registro UDDI, mantenimiento y actualización de la información registrada ante posibles cambios de estructura o de localización física, localización de servicios a través de consultas al registro UDDI para su invocación, control de acceso y desconexión de la red y, en la medida de lo posible, sincronización con el registro para controlar la disponibilidad de los servicios.

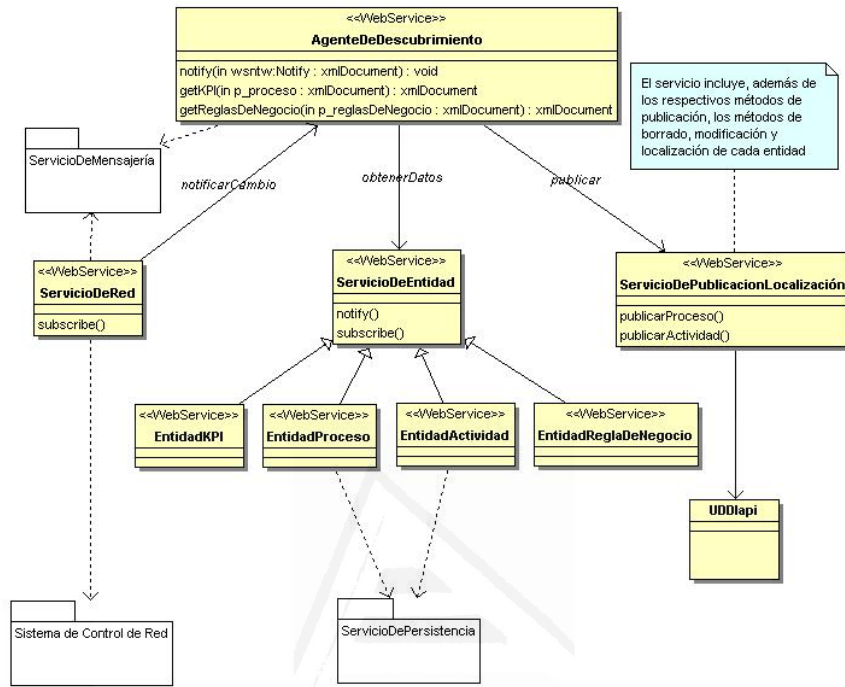


Figura 5-22. Arquitectura del servicio de descubrimiento.

El agente de descubrimiento realiza el proceso de descubrimiento coordinando el flujo de trabajo a partir de los siguientes elementos: el servicio de publicación y localización, el servicio de red y los servicios de entidad. El documento WSDL que define el servicio ha sido modelada en la figura 5-23 con la extensión de UML descrita en (Vara et al., 2004). En la figura no se ha modelado las operaciones del agente de descubrimiento heredadas de la interfaz *NotificationConsumer* (WSBN, 2006).

El servicio de red es un servicio de tipo *service wrapper* (Erl, 2005) que implementa la interfaz *NotificationProducer* (WSBN, 2006) y es responsable de exponer la funcionalidad relacionada con los aspectos de conexión a la red o cambios en la configuración de los parámetros de red de la maquinaria industrial que afectan a la disponibilidad y accesibilidad al

servicio notificando cualquier cambio de estado al *agente de descubrimiento* a través de la capacidad *notify*.

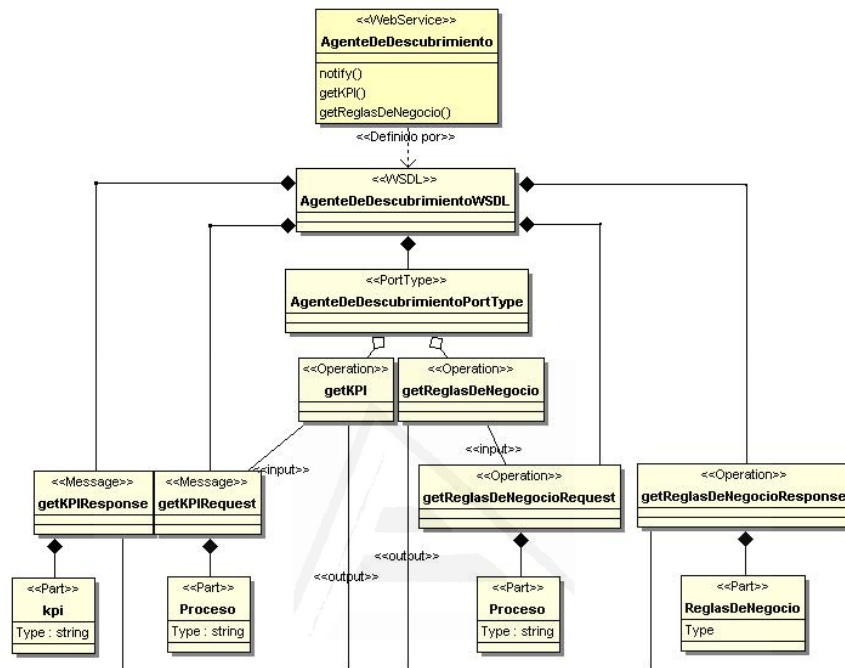


Figura 5-23. Modelado del documento WSDL que define el servicio Agente de Descubrimiento.

El servicio de publicación y registro expone la funcionalidad relacionada con las operaciones de publicación y localización de la información de los procesos en el registro UDDI basándose en las recomendaciones descritas en (Colgrave & Januszewski, 2004) y (Von Riegen & Trickovic, 2004). El servicio actualmente sólo contempla UDDI como protocolo de descubrimiento pero podrían ampliarse en un futuro soportando otros estándares de descubrimiento como WS-Discovery. Uno de los parámetros que recibiría el servicio sería el tipo de sistema de descubrimiento y en base a esa información invocaría el módulo de publicación o localización correspondiente haciendo transparente el proceso de publicación de procesos (servicio orquestado y los servicios atómicos asociados) y actividades (servicios atómicos). El agente

de descubrimiento define dos capacidades que exponen a un consumidor, en este caso un sistema BPMS, por una lado, el indicador clave de proceso asociado a cada servicio orquestado o atómico (*getKPI*), y, por otro lado, las reglas de negocio asociadas a los servicios de negocio orientados a la tarea que podrán ser modificadas posteriormente (*getReglasDeNegocio*).

Los servicios de entidad exponen el acceso a la información de las entidades a las que representan y que deben publicar en el registro UDDI. Para evitar duplicidad de los servicios registrados en caso de caída de la red el agente de descubrimiento almacenará la información de identificación de la publicación.

En la figura 5-24 se muestra mediante el diagrama de secuencia el funcionamiento de la fase de publicación del *Servicio de Descubrimiento*.

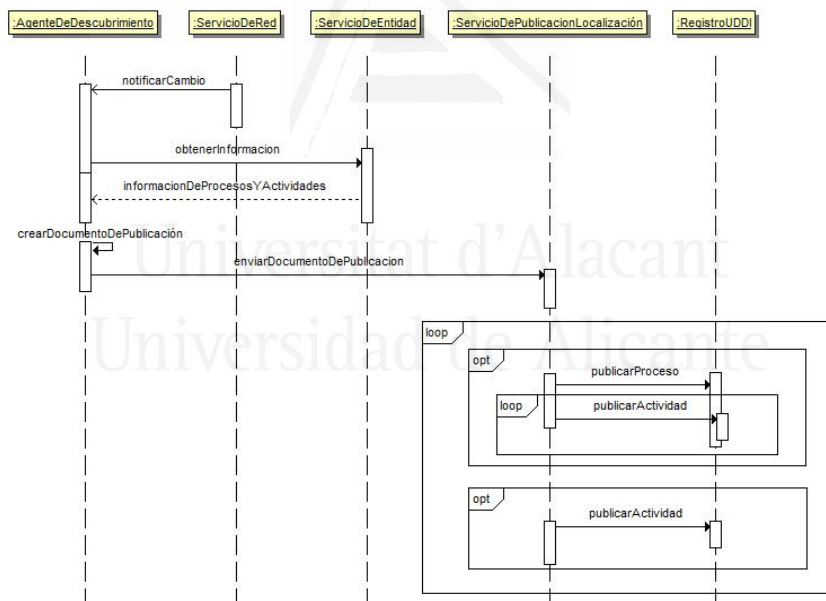


Figura 5-24. Diagrama de secuencia de la fase de publicación de procesos y actividades.

Otro de los servicios que no son cubiertos por ninguna de las especificaciones WS-* es el servicio de despliegue. El servicio de despliegue se encarga de la realizar la funcionalidad definida por

el sistema de despliegue como se muestra en la figura 5-25. El servicio ofrece una interfaz de acceso SOA descrita mediante el documento WSDL correspondiente. Se trata de un Servicio Web que recibe como entrada un documento XML que encapsula toda la información referente al modelado de procesos (documentos BPEL y WSDL, reglas de negocio y KPI asociado).

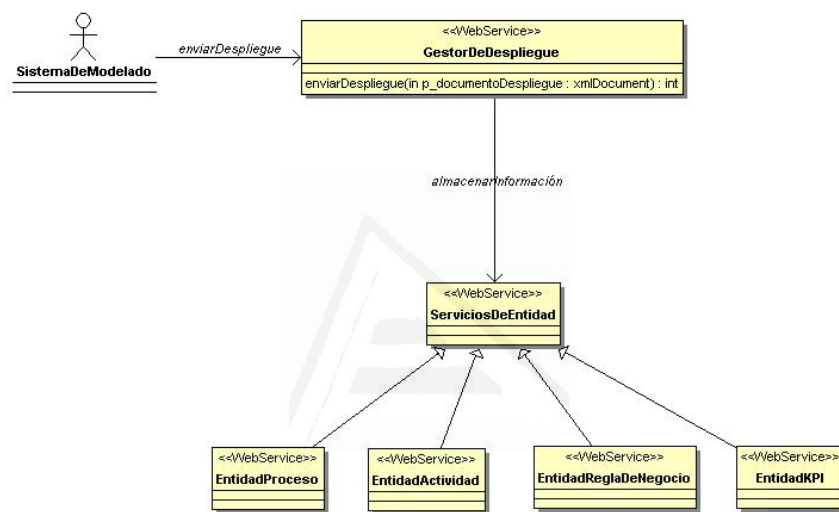


Figura 5-25. Modelado del servicio *Gestor de Despliegue*.

El servicio gestor de despliegue analiza el documento recibido y su correcta sintaxis para posteriormente fragmentarlo en las diversas partes e interactuar con los servicios de entidad correspondiente para almacenar la información. En la figura 5-26 se muestra el modelado del documento WSDL que define al servicio, su parte abstracta.

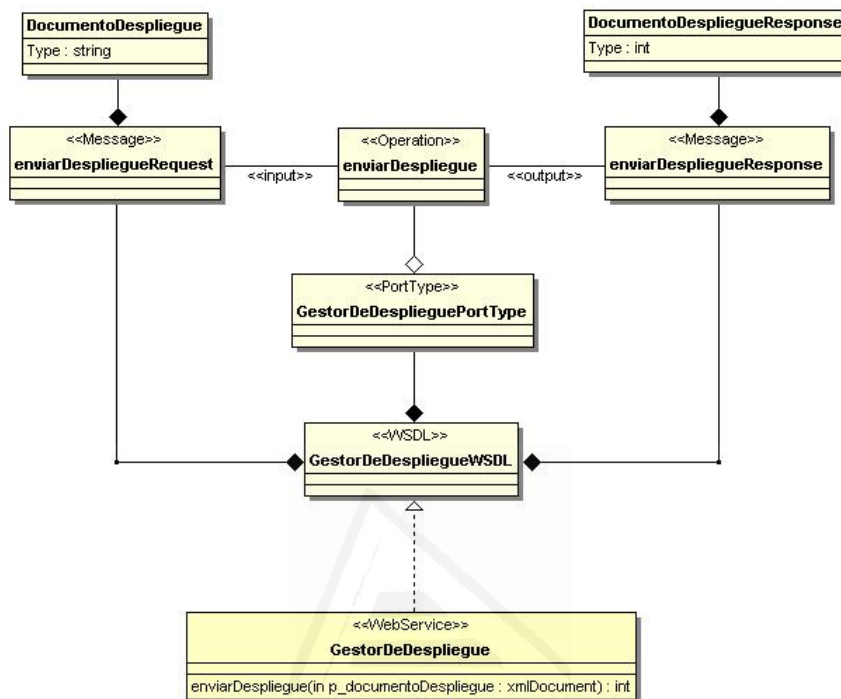


Figura 5-26. Modelado del documento WSDL que define el servicio *Gestor de Despliegue*.

El servicio de reglas de negocio realizaba el caso de uso gestionar reglas de negocio del sistema de ejecución. El servicio expone la funcionalidad del motor de reglas de negocio a través del Servicio Web *gestor de reglas de negocio* que implementa un servicio de tipo *service wrapper* con un patrón de intercambio de mensaje *petición-respuesta*. Los servicios de negocio orientado a la tarea, *task-centric services* (Erl, 2005), son definidos en la arquitectura IMaaS por el proveedor de la maquinaria industrial para utilizar el servicio de reglas y permitir al ingeniero de procesos parametrizar estos servicios. A través de su WSDL, *el gestor de despliegue*, define la interfaz de acceso al motor donde cualquier proceso de negocio podría solicitar su consumo para obtener y evaluar una determinada condición. Además, el servicio ofrecerá otras capacidades para gestionar las reglas de negocio, crear, borrar, consultar y modificar. El servicio encapsula los motores de reglas provistos por el fabricante de la maquinaria que podría

basarse en lenguajes como SRML (SRML, 2010) o RuleML (RuleML, 2010). En la figura 5-27 se muestra la arquitectura del servicio de reglas de negocio mediante el diagrama de clases UML.

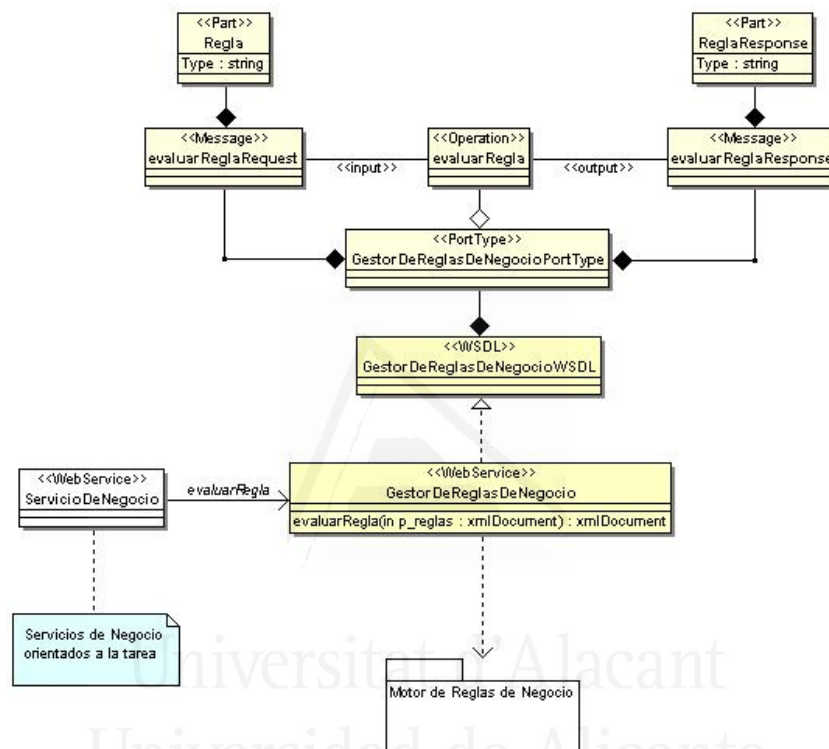


Figura 5-27. Modelado del Servicio Web Gestor de Reglas de Negocio.

El servicio de persistencia realiza la funcionalidad del caso de uso *gestionar persistencia y estado* del sistema de ejecución como se describe en la figura 4-13. El principal componente del servicio es *el gestor de persistencia*. Se trata de un Servicio Web que implementa el patrón *service wrapper* (Erl, 2005) exponiendo la funcionalidad del motor de persistencia que es utilizado como un sistema heredado. El gestor de persistencia se sustenta sobre la especificación WS-Notification implementando el patrón *NotificationProducer* y *NotificationConsumer* e interactúa con los servicios de entidad en dos sentidos. En primer lugar, cuando se produce un cambio en la base de datos *el gestor de persistencia*

es responsable de notificárselo a las entidades afectadas que previamente se han suscrito al gestor. El segundo caso se produce cuando un servicio consumidor invoca a un servicio de tipo entidad. En este caso, el servicio de entidad se lo notificará al *gestor de persistencia* enviándole la información que debe almacenarse de forma persistente a través de las operaciones de creación, borrado o modificación y ofreciendo una interfaz para la realización de consultas y búsqueda de información (CRUD). En la figura 5-28 se muestra la arquitectura del servicio.

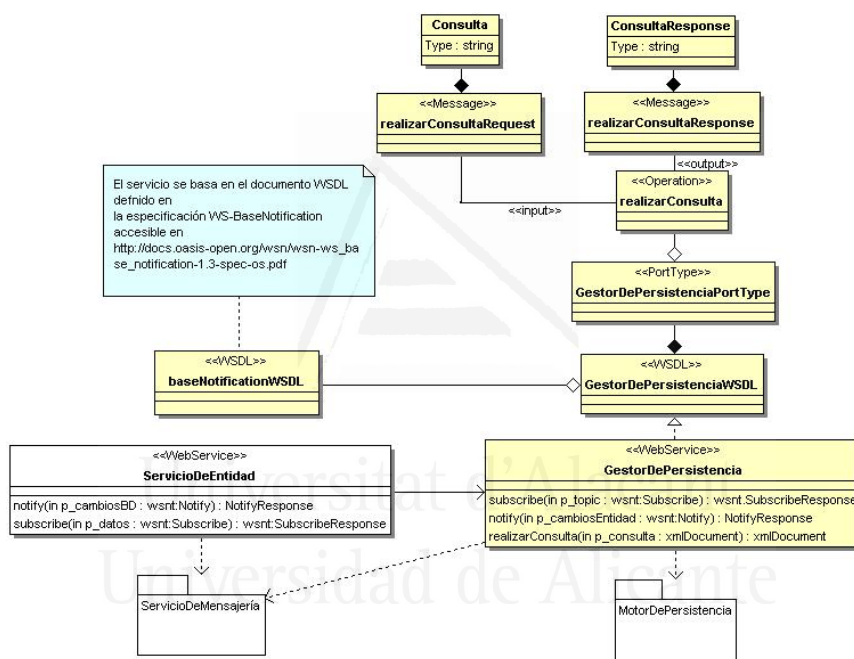


Figura 5-28. Modelado del Servicio Web Gestor de Persistencia.

El servicio de tiempo está compuesto por *el gestor de tiempo* el cual se ha definido como un servicio de tipo *service wrapper* (Erl, 2005) que expone el acceso al sistema de tiempo como aplicación heredada. El servicio ofrece una capacidad *getTiempo* que permitirá al resto de servicios acceder para obtener la fecha del sistema con el formato indicado como parámetro. En la figura 5-29 se muestra el modelado del Servicio Web.

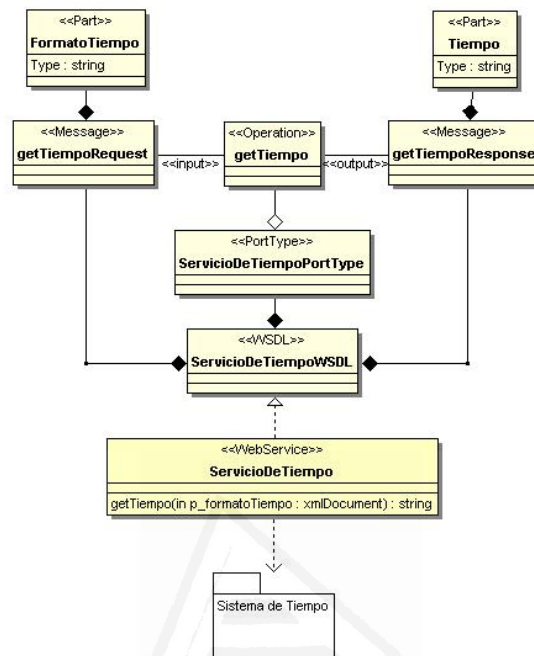


Figura 5-29. Modelado del Servicio Web Gestor de Tiempo.

Por último, se han estructurado las especificaciones WS-* seleccionadas junto con las propuestas no estandarizadas o propias siguiendo un patrón arquitectónico de capas. Para las primeras, para establecer la estructura, se han seguido los requerimientos y recomendaciones de dependencias que aparecen en los documentos y especificaciones de las organizaciones que las gestionan. Como resultado de la ejecución del proceso de normalización del middleware se ha obtenido la arquitectura tecnológica que muestra la maquinaria industrial como un contenedor de servicios (figura 5-30). Sobre esta plataforma se sustentarán los servicios de la capa de aplicación que serán definidos en el siguiente proceso, y, que expondrán los procesos de negocio llevados a cabo en la maquinaria industrial dando lugar a lo que se ha definido como *arquitectura IMaaS*.

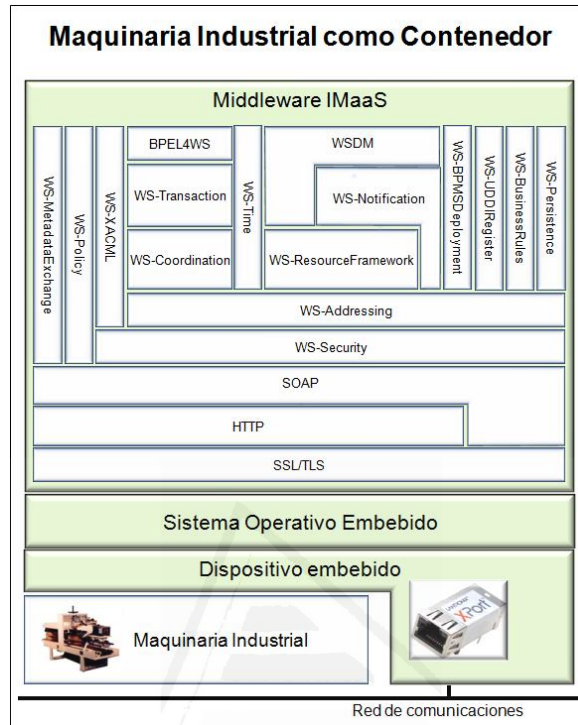


Figura 5-30. Resultado de la normalización middleware.

Normalización de los Servicios de la Maquinaria Industrial

El objetivo del proceso de normalización tecnológica, como se comentó anteriormente, es mostrar la maquinaria industrial como un sistema BPMS que exponga su funcionalidad como servicios al resto de la organización. En las dos fases anteriores, como parte de la *arquitectura IMaaS*, se ha establecido la infraestructura computacional y los servicios de soporte necesarios para sustentar al sistema. La última fase para obtener la *arquitectura IMaaS* es llevada a cabo por el proceso de normalización de los servicios de la maquinaria industrial. El objetivo del proceso es definir los servicios de tipo no genérico dependientes del dominio de aplicación, en este caso, la gestión

de procesos de fabricación de la maquinaria industrial. Dichos servicios encapsularán y expondrán las funcionalidades especificadas por el modelo BPM de la maquinaria industrial que no forman parte de la infraestructura de soporte. Estos son los procesos de negocio de la maquinaria industrial y la funcionalidad de los sistemas de control, interacción y modelado.

En concreto *el proceso de normalización de servicios de la maquinaria industrial* se centra en los servicios ubicados en las capas de *servicios de aplicación*, de *servicios de negocio* y de *servicios de orquestación* que se recogieron en la figura 5-8.

El proceso se ha modelado gráficamente mediante la notación de Eriksson-Penker (figura 5-31). El proceso recibirá como entrada la *maquinaria industrial como contenedor* obtenida en el proceso previo. Se trata de un objeto de tipo físico que será refinado durante el proceso mediante los recursos de control y suministro y, como resultado del mismo se obtendrá la arquitectura IMaaS (*Maquinaria industrial como Servicios*) que expondrá los procesos de la maquinaria industrial y su gestión como servicios.

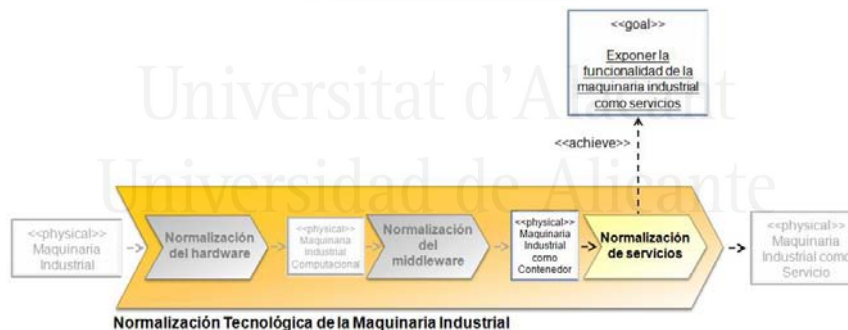


Figura 5-31. Proceso de Normalización de Servicios.

Para alcanzar su objetivo el proceso se ha dividido en dos subprocesos como se muestra en la figura 5-32. Por un lado, el proceso de definición de servicios SOA de producción que identificará, desde el punto de vista conceptual, los servicios que expondrán la funcionalidad de los procesos de negocio y de los sistemas del modelo BPM de la maquinaria industrial que no se

han reflejado en la normalización del middleware. En segundo lugar, el proceso de definición de servicio WS-* de producción mostrará la arquitectura de servicios definidos en la fase anterior a través de la tecnología de Servicios Web de segunda generación.

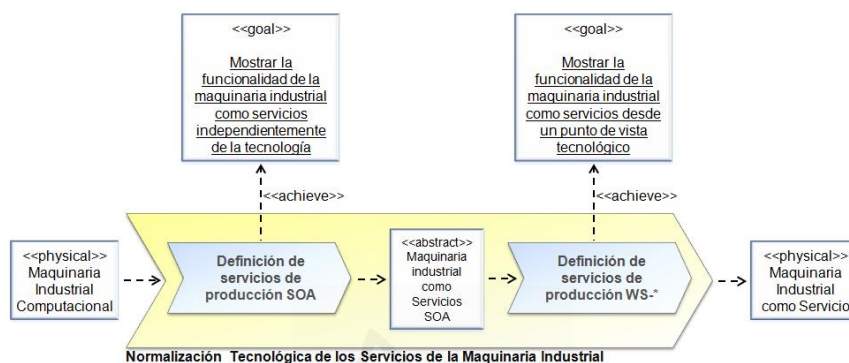


Figura 5-32. Proceso de Normalización del Middleware.

Definición de los Servicios de Producción SOA

El proceso de definición de los servicios de producción SOA se centra en definir, como parte de la *arquitectura IMaaS*, los servicios del dominio de aplicación que encapsularán y expondrán la funcionalidad del modelo BPM de la maquinaria industrial desde un punto de vista conceptual. Los servicios representan por un lado, el mapa de procesos de la maquinaria industrial y por otro, los sistemas de control, interacción y modelado. Estos servicios harán uso de los servicios middleware y de soporte que fueron obtenidos en el proceso de normalización middleware. En concreto, los servicios que se definen en esta fase, como se comentó anteriormente, se encuentran ubicados a nivel conceptual en *la capa de servicios de aplicación*, en *la capa de servicios de negocio* y en *la capa de servicios de orquestación* de la arquitectura SOA.

En la figura 5-33, se ha modelado mediante la notación de Eriksson-Penker el proceso de definición de los servicios de producción SOA. El proceso recibe como entrada la maquinaria industrial como contenedor que dará soporte a los servicios del

dominio de aplicación y que serán definidos desde un punto de vista conceptual independientemente de la tecnología. Las funcionalidades a encapsular se extraerán a partir del modelo BPM de la maquinaria industrial enfocado al paradigma SOA. Como resultado de este subproceso se obtendrá la vista conceptual de la arquitectura de la maquinaria industrial como servicio, IMaaS.

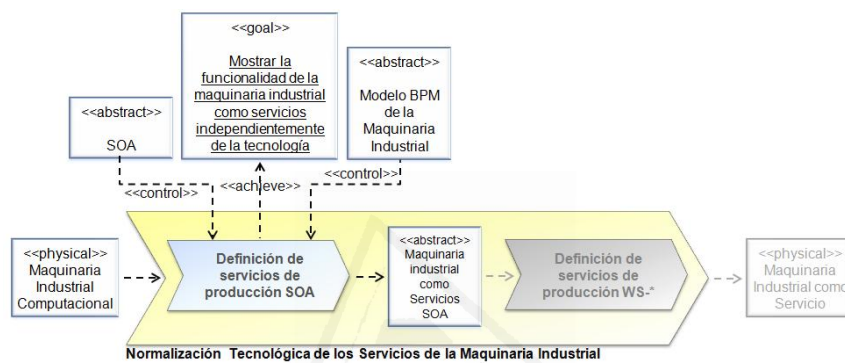


Figura 5-33. Proceso de Normalización de Servicios de Producción.

Para llevar a cabo el proceso se han definido un conjunto de recursos de control encargados de guiar el proceso para evitar desviaciones de su objetivo. Los objetos de control definidos son el modelo BPM de la maquinaria industrial y el paradigma SOA.

El modelo BPM de la maquinaria industrial es el controlador principal del proceso. Se trata del patrón de referencia del cual se obtendrá la funcionalidad que debe encapsular cada servicio de aplicación definido y los servicios auxiliares necesarios.

El paradigma SOA se presenta como un objeto de control responsable de controlar que la definición de los servicios de aplicación se haga conforme a sus principios.

Como resultado del proceso de normalización conceptual de la maquinaria industrial se obtuvo el modelo BPM de la maquinaria industrial que se ha identificado como uno de los controladores principales del presente proceso. En el modelo se definió por un lado, el mapa de procesos de la maquinaria industrial y, por otro

lado, los sistemas BPM de la maquinaria industrial para gestionar el mapa de procesos de la maquinaria. A partir de estas dos partes del modelo BPM, para llevar a cabo el proceso de definición de los servicios de producción de la maquinaria industrial, se ha establecido dos fases, una primera fase que identifica los servicios relacionados con el mapa de procesos de la maquinaria industrial y, posteriormente, una segunda fase que identifica los servicios relacionados con los sistemas de gestión del modelo BPM de la maquinaria industrial. Por último, se ha definido una última actividad dentro del proceso que tiene como objetivo obtener la arquitectura conceptual de los procesos de producción de la maquinaria industrial.

Identificación de los Servicios del Mapa de Procesos de la Maquinaria Industrial

En el capítulo IV se definió el mapa de procesos de negocio de la maquinaria industrial que establecía un modelo que estructuraba y clasificaba jerárquicamente en niveles los procesos y actividades llevados a cabo en la maquinaria industrial como se mostraba en la figura 4-5. A partir de este modelo se ha definido la estructura e identificado los tipos de servicios de producción de la maquinaria industrial. El enfoque propuesto establece una relación entre la estructura del mapa de procesos de la maquinaria y la estructura de servicios de producción distinguiendo tres tipos de servicios: *los servicios de proceso*, *los servicios de medición* y *los servicios de actividad*.

Los servicios de proceso representan los procesos y subprocesos ubicados en los niveles 1 y 2 del mapa de procesos de la maquinaria industrial exponiendo la lógica de proceso o funcionalidad de alto nivel que ofrece la maquinaria industrial. Estos servicios se han dividido en dos tipos: *los servicios de fabricación* y *los servicios de soporte*. Ambos tipos son utilizados y orquestados junto con otros servicios de la organización para conformar y automatizar los procesos de negocio de mayor nivel de abstracción de la organización. Los servicios de fabricación y

de soporte están basados en el patrón de orquestación con un comportamiento similar al descrito en (Erl, 2009).

Los servicios de fabricación son servicios que exponen la lógica de proceso o funcionalidades que ofrece la máquina industrial. Representan los procesos principales de la maquinaria industrial establecidos en el mapa de procesos de la maquinaria industrial. Establecen un comportamiento pasivo a la espera de peticiones provenientes de consumidores externos mediante paradigmas orientados a servicios (patrones de mensaje petición-respuesta o de único sentido). Los servicios de fabricación están basados en el patrón de orquestación con un comportamiento similar al descrito en (Erl, 2009).

Los servicios de soporte exponen la lógica de los procesos de soporte descritos en el patrón BPM de la maquinaria industrial. Estos servicios encapsulan la lógica necesaria para que los servicios de producción puedan ser ejecutados conforme a los objetivos estratégicos (un ejemplo de estos servicios sería un servicio de inventario que se encargaría de comprobar que la maquinaria cuenta con los elementos necesarios para desempeñar su función principal, como en una fresadora ver si cuenta con las herramientas necesarias en un almacén inteligente si dispone de huecos vacíos para poder almacenar materia. Otro proceso de soporte podría controlar el gasto asociada a una máquina para evitar desviarse del objetivo de costes de producción y controlar por ejemplo el gasto de consumo eléctrico, de materia prima o material necesarios para su funcionamiento como aceite lubricante. En el capítulo anterior comentamos otros dos ejemplos de procesos de soporte que consideramos imprescindible en el mapa de procesos de la maquinaria industrial como el proceso de mantenimiento de la mecánica y el de seguridad). Los servicios de soporte serán invocados en el momento en el que un servicio de producción sea, también, invocado. El ingeniero de procesos podría modelar este tipo de servicio indicando la información a recibir si se diese alguna anomalía que pudiera desviar al proceso principal de su

objetivo de negocio. El patrón de comportamiento sería similar al de los servicios de procesos de tipo principal.

Los servicios de medición exponen la lógica necesaria para calcular los indicadores claves de procesos de los cuales se nutrirán los servicios de gestión, en concreto el de monitorización. Está compuesto de dos servicios ubicados en la capa de negocio uno de ellos de tipo *task-centric* (Erl, 2005) y el otro de tipo *entity-centric* (Erl, 2005).

El servicio de medida es un servicio de negocio centrado en la tarea que expone la lógica necesaria para calcular los indicadores claves de proceso a partir de la información obtenida del correspondiente servicio de proceso o de los procesos de adquisición. El servicio de medida utiliza el servicio de reglas de negocio de la capa de infraestructura que permite al ingeniero de procesos parametrizar el cálculo de los KPI.

El servicio KPI es un servicio de negocio de tipo entidad que representa el concepto de indicador clave de un proceso del mapa de procesos de la maquinaria industrial implementando un patrón petición-respuesta. El servicio se basa en el *servicio de notificación* para comunicarse con *el servicio de persistencia*.

Los servicios de actividad ubicados en la capa de aplicación representan las actividades del mapa de procesos de la maquinaria industrial (operaciones con sensores y actuadores) y exponen la funcionalidad básica que será reutilizada por otros servicios de las capas superiores. En el modelo propuesto los principales servicios de actividad son: *los servicios de adquisición* y *los servicios de ejecución*. Los servicios de actividad establecen el patrón de intercambio de mensajes petición-respuesta y representan los servicios de carácter más tecnológico.

Los servicios de adquisición se encargan de exponer la funcionalidad necesaria para la lectura de información procedente de los sensores de la máquina industrial.

Los servicios de actuación exponen la funcionalidad de la máquina, orientada a tareas básicas, sobre los componentes mecánicos (control y gestión de los actuadores).

Estos dos tipos de servicios son definidos como servicios de envoltura (*wrapper services*) (Erl, 2009), que establece la fachada de acceso a dichos componentes y abstraen las peculiaridades mecánicas y electrónicas de los mismos.

Ambos servicios representan la funcionalidad básica de la maquinaria industrial a partir de los cuales se compondrán los servicios de mayor nivel de abstracción y más cercanos a los procesos de negocio.

Como resultado de esta etapa, en la figura 5-34 se muestra la arquitectura conceptual en capas de los servicios que exponen la funcionalidad del mapa de procesos de la maquinaria industrial.

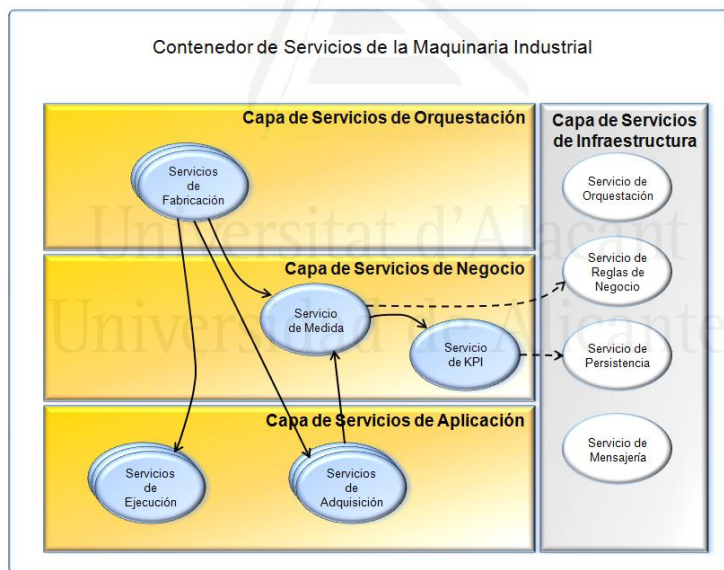


Figura 5-34. Servicios de fabricación de la maquinaria industrial.

Identificación de los Servicios del Sistema de Gestión de Procesos de la Maquinaria Industrial

El segundo módulo que formaba el modelo BPM de la maquinaria industrial era el compuesto por los sistemas de gestión BPM descritos en el capítulo anterior. En el procesos de normalización del middleware de la maquinaria industrial se obtuvieron los servicios de soporte que forman la capa middleware de la arquitectura IMaaS, a partir del sistema de ejecución, del sistema de descubrimiento y del sistema de despliegue. Se trataba de servicios agnósticos independientes del dominio de aplicación. En la presente actividad se ha identificado los tipos de servicios de gestión que expondrán la funcionalidad contemplada en los sistemas de gestión BPM de la maquinaria industrial pero que, en este caso, son dependientes del dominio de aplicación. En este sentido, se han identificado *los servicios de monitorización de procesos y el servicio GUI*. Para ubicar estos servicios se parte del mismo modelo de capas definido en (Erl, 2005) que ha sido descrito en este capítulo.

Los servicios de monitorización representan *meta-procesos* que exponen la lógica necesaria para llevar a cabo la gestión de los procesos definidos anteriormente desde el punto de vista de los objetivos estratégicos del negocio con el objetivo de evitar desvíos de los mismos y localizar posibles mejoras que se pudieran aplicar a los mismos. Estos exponen la funcionalidad identificada en el sistema de control del modelo BPM de la maquinaria industrial.

Conceptualmente se trata de servicios orquestados con el mismo patrón formado por un servicio controlador de la monitorización encargado de la coordinar el flujo de trabajo y la interacción de los servicios, es decir, de la orquestación, y tres servicios de la capa de negocio de tipo *task-centric* (Erl, 2005): *el servicio de captación de KPIs* que, a partir del *servicio de entidad KPI* y de las reglas de negocio introducidas por el ingeniero de procesos obtendrá los indicadores clave definidos para el proceso que se desee monitorizar, *el servicio de diagnóstico* que es responsable de exponer la funcionalidad de análisis de los indicadores

obtenidos por el servicio anterior, también, mediante el uso del servicio de reglas y, por último, *el servicio de decisión* que es responsable de exponer la funcionalidad que aplique las medidas correctivas o los avisos de alarma usando las reglas definidas por el ingeniero de procesos en función del resultado obtenido por *el servicio de diagnóstico* con el objetivo de alinear la ejecución de los procesos con sus objetivos. Este último servicio permite modificar las variables de control cuya modificación puede afectar al resultado de dichos indicadores. En la figura 5-35 se muestran *los servicios de monitorización* distribuidos en el modelo de capas descrito anteriormente.

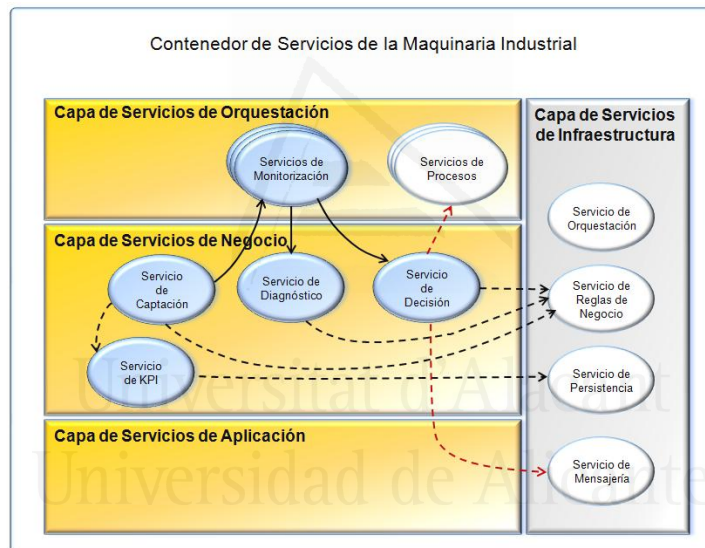


Figura 5-35. Servicios de gestión de la maquinaria industrial.

Los servicios de monitorización de procesos exponen la funcionalidad encargada de controlar y supervisar el cumplimiento de los objetivos asociados a los procesos de negocio representados por los servicios de procesos. El objetivo es controlar el correcto funcionamiento del proceso evitando desvíos del objetivo definido.

Los servicios de monitorización de la mecánica exponen la funcionalidad encargada de supervisar y controlar los objetivos

definidos para *los servicios de mantenimiento* de la mecánica de la maquinaria industrial. En este caso *el servicio de análisis* se basa en mecanismos predictivos, preventivos y correctivos.

Los servicios de monitorización de seguridad exponen la funcionalidad encargada de supervisar y controlar la seguridad asociada al funcionamiento y manejo de la maquinaria industrial. Al igual que en el caso de la monitorización de la mecánica, el servicio de análisis se basa en mecanismos predictivos, preventivos y correctivos.

Los servicios de monitorización se invocarán en el momento que un nuevo indicador clave relacionado con uno de los procesos que se desea monitorizar es generado. Además, establece un comportamiento proactivo en el momento que detecte una desviación del indicador asociado a un proceso, definiendo un patrón de intercambio de mensajes con patrón notificación por medio del servicio de infraestructura con el mismo nombre, (Erl, 2005) en caso de establecer una alerta o un mensaje petición-respuesta (Erl, 2005) sobre *el servicio de proceso* afectado en el caso de establecer un proceso de corrección interna.

Hasta ahora los servicios que se han definido a partir de los sistemas de gestión del modelo BPM de la maquinaria industrial están orientados a un modelo B2B. Sin embargo, los sistemas de modelado y de interacción se basan en un modelo B2C. Aunque la presentación no se contempla en el modelo SOA, la funcionalidad de estos sistemas serán expuestos a través del *servicios GUI* interactuando con el resto de servicios de la arquitectura IMaaS.

Proceso de Definición de Servicios WS-* de Producción

El presente proceso, proceso de definición de servicios WS-*, tiene como objetivo obtener la arquitectura técnica IMaaS a partir de la arquitectura conceptual obtenida en las fases anteriores. Para ello el único paso que se debe realizar es definir los servicios del

dominio de aplicación obtenidos en el proceso de definición de servicios SOA de producción como Servicios Web.

Al igual que en ocasiones anteriores el proceso ha sido modelado gráficamente mediante la notación Eriksson-Penker como se muestra en la figura 5-36. Como se observa en la figura, el proceso recibirá como entrada el recurso maquinaria industrial como servicios SOA, representando la arquitectura conceptual. Como resultado mediante la aplicación de los recurso de suministro y guiado el proceso a través de los objetos de control se obtendrá la arquitectura física de la maquinaria industrial como servicios o lo que es lo mismo, la arquitectura IMaaS.

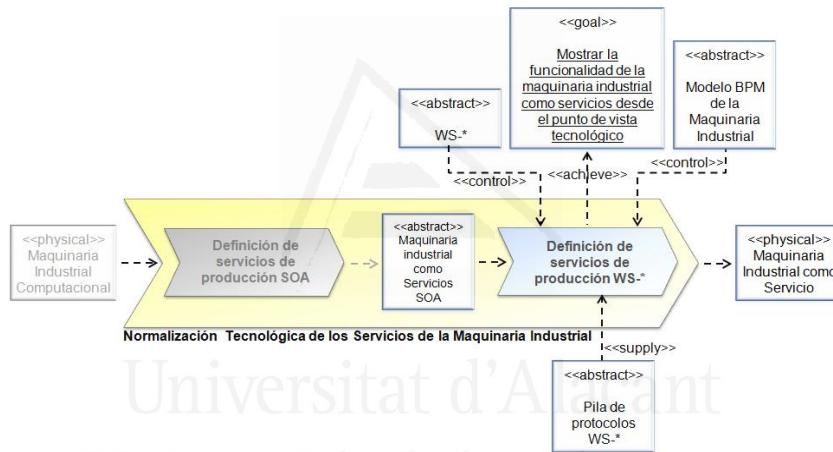


Figura 5-36. Proceso de Definición de servicios de producción WS-*.

Los objetos de control mencionados que guiarán el proceso evitando desviaciones de los objetivos son: el paradigma SOA y las especificaciones de los Servicios Web de segunda generación.

Además, para llevar a cabo el proceso ha sido necesario el uso de un recurso de tipo suministro como es la pila de protocolos de Servicios Web de segunda generación.

Aunque, en este caso, la arquitectura resultante esté ligada a una tecnología concreta todavía no se centra en los aspectos de su implementación.

En esta fase del trabajo es necesario establecer una distinción entre los servicios de aplicación definidos por el proveedor de la maquinaria industrial IMaaS y los servicios de aplicación definidos por el ingeniero de procesos en función de los requerimientos de su organización. Para ello en la figura 5-37 se muestra la arquitectura IMaaS con los servicios mínimos que debe proporcionar y definir el proveedor de la maquinaria.

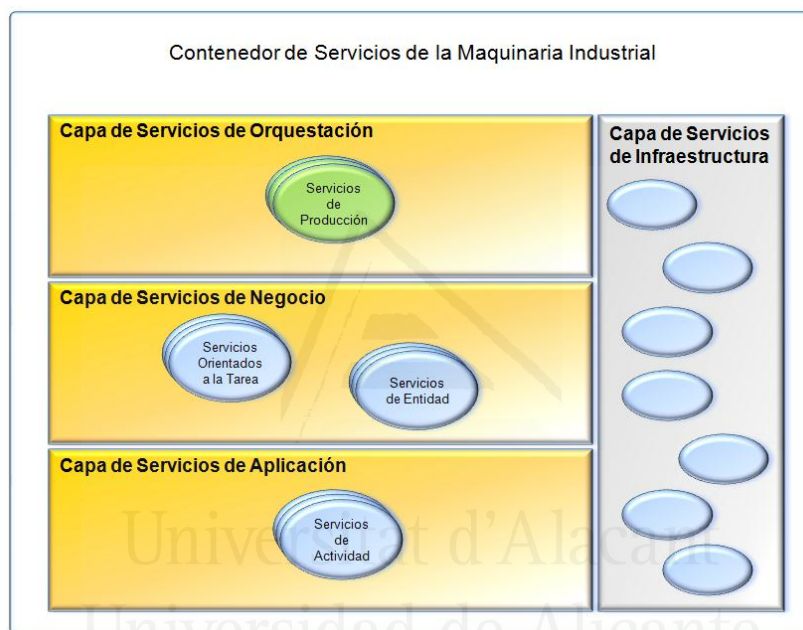


Figura 5-37. Arquitectura IMaaS mínima que proporciona el proveedor de la maquinaria.

Los servicios mínimos que debe facilitar el proveedor (marcado en azul en la figura 5-37) son: *los servicios de actividad, los servicios de entidad y los servicios de negocio orientados a la tarea.*

Los servicios de actividad estaban divididos en los servicios de sensorización responsables de la exposición del acceso a los sensores y los de ejecución responsable de exponer la interacción con los actuadores.

En la figura 5-38 se muestra el modelo del Servicio Web *Servicio de Adquisición* mediante la extensión UML para modelado de Servicios Web propuesto en (Vara *et al.*, 2004). En la figura se ha descrito de forma simplificada el documento WSDL que define al servicio porque se trata de un servicio atómico muy dependiente del fabricante. Se ha definido sólo la parte abstracta del servicio y con una *capacity* muy genérica porque dependerá del tipo de máquina industrial y sus componentes mecánicos.

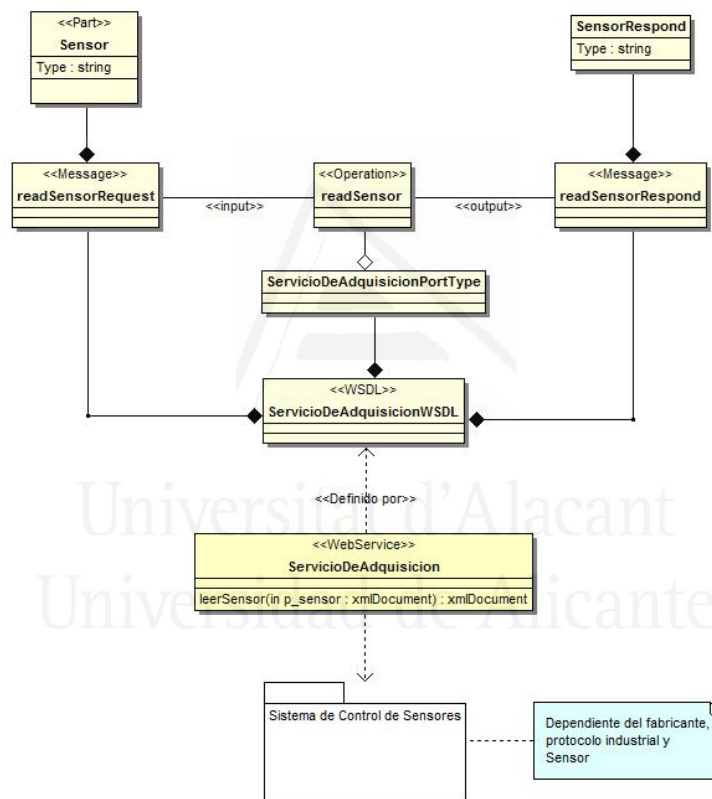


Figura 5-38. Modelado UML del Servicio de Adquisición.

De la misma forma, en la figura 5-39, se ha definido el documento WSDL que define el patrón del servicio de ejecución contemplando el modelo desde un punto de vista general.

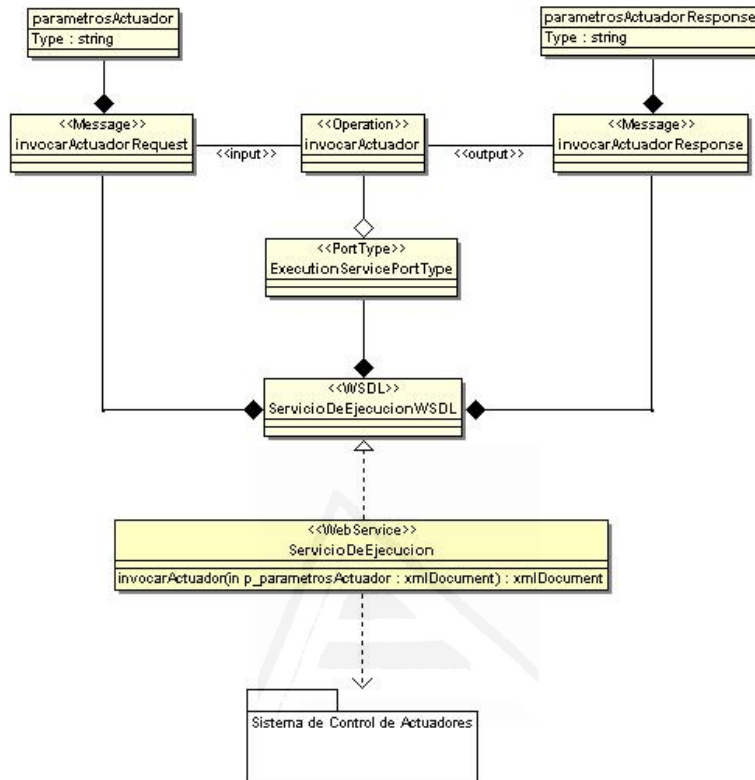


Figura 5-39. Modelado UML del Servicio de Ejecución.

Los servicios de entidad exponían el acceso a la información del concepto que representan (procesos, actividades, reglas de negocio, etc.) y mantienen la información actualizada interactuando con el servicio de persistencia. Los servicios de entidad establecen las operaciones de creación, borrado, modificación y lectura (operaciones CRUD) sobre la información de las entidades que representan. Además, define una serie de operaciones que permite al servicio de reglas de negocio interactúa con los servicios de entidad con el fin de actualizar la información ante posibles cambios. En la figura 5-40 se muestra el modelado general de los Servicios Web de entidad definiendo como ejemplo las capacidades del Servicio Web *EntidadProceso*.

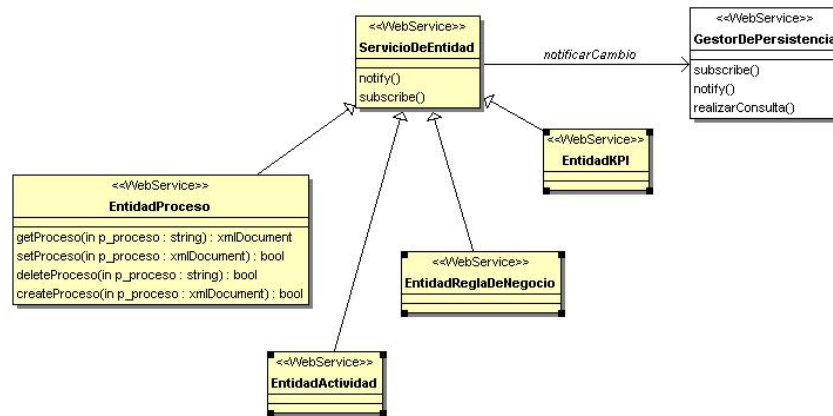


Figura 5-40. Modelado UML de los Servicios de Entidad.

Los servicios de negocio orientados a la tarea (el servicio de medida, el servicio de diagnóstico y el servicio de decisión) ofrecen un patrón preestablecido al ingeniero de procesos que permite la parametrización de dichos servicios en función del dominio de aplicación, utilizando para ello el servicio de reglas.

El servicio de medida recibe información de control tanto de los servicios de producción como de los servicios de sensorización. La forma de recibir información de los primeros la define el ingeniero de procesos cuando necesite calcular algún indicador invocando a la *capacity enviarDatos*. En el segundo caso, el servicio de adquisición se basa en las reglas definidas por el ingeniero de procesos que le indicarán cuándo y qué parámetros leer sobre un sensor determinado. Una vez se ha recogido toda la información necesaria, y, en base a las reglas de cálculo de indicadores claves de proceso (KPI) el servicio realiza el cálculo invocando posteriormente al servicio KPI para su almacenamiento. En las figuras 5-41 se describe el Servicio Web *servicio de medida* mediante la extensión UML propuesta en (Vara *et al.*, 2004).

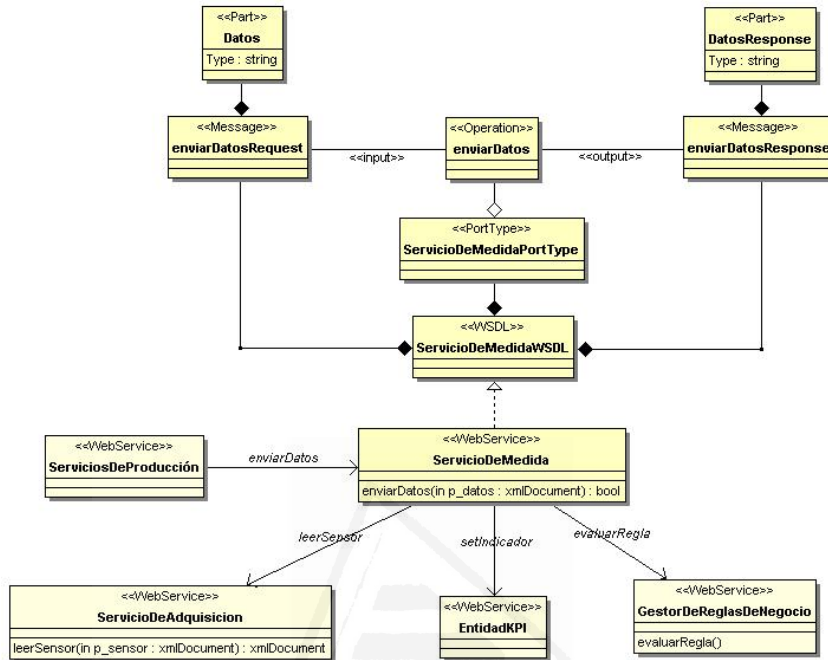


Figura 5-41. Modelado UML de los Servicio de Medida.

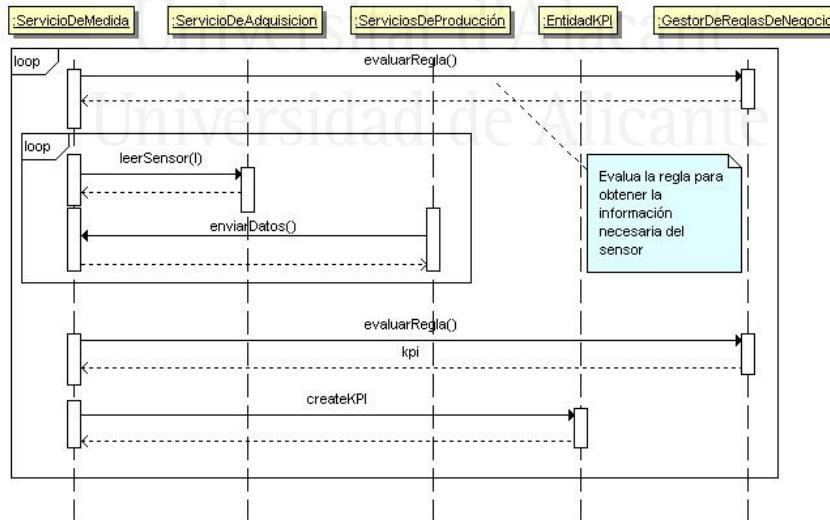


Figura 5-42. Diagrama de secuencia del Servicio de Medida.

Su comportamiento se muestra a través del diagrama de secuencia UML descrito en la figura 5-42.

El servicio de captación es utilizado por los servicios de monitorización para obtener los indicadores claves que serán evaluados posteriormente para verificar el correcto funcionamiento del proceso conforme a los objetivos definidos para el mismo. El servicio de captación en el momento que detecte que uno de los indicadores que el ingeniero de procesos quiere evaluar ha sido almacenado a través del servicio de entidad KPI se lo notificará al servicio de monitorización que comenzará su proceso. La estructura del servicio es modelado a través del diagrama de clases de la figura 5-43.

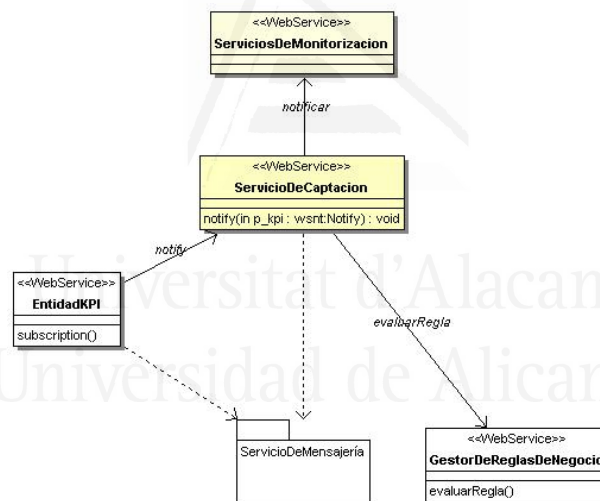


Figura 5-43. Modelado UML del Servicio de Captación.

El funcionamiento del servicio se ha modelado mediante el diagrama de secuencia de la figura 5-44.

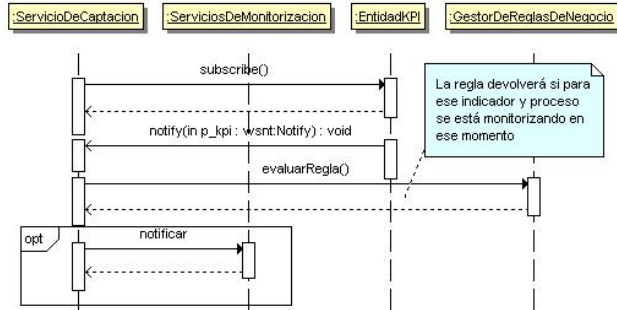


Figura 5-44. Diagrama de secuencia del Servicio de Captación.

El servicio de diagnóstico es utilizado para la orquestación por los servicios de monitorización. Los servicios de monitorización le envían el indicador o indicadores claves del proceso a evaluar a este servicio que, a través de las reglas de negocio introducidas por el ingeniero de procesos evaluará su alineación con los objetivos definidos o el grado de desviación devolviendo el resultado al servicio de monitorización correspondiente. En la figura 5-45 se muestra la descripción del servicio.

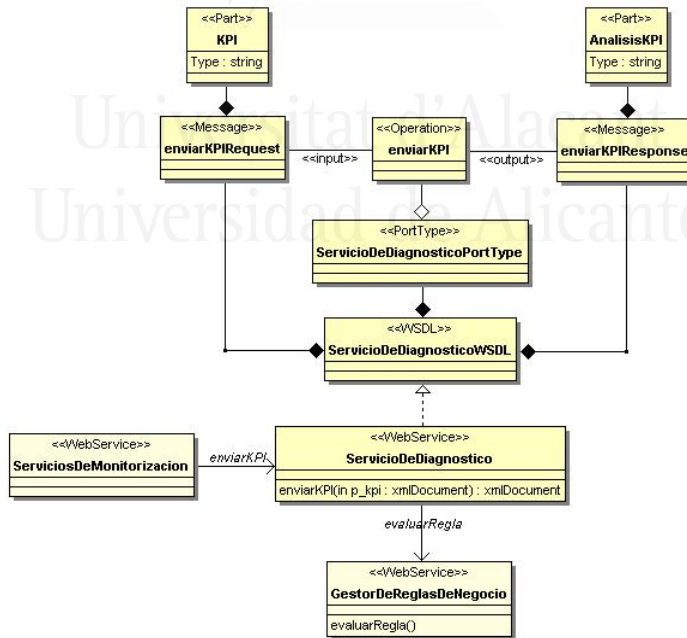


Figura 5-45. Modelado UML del Servicio de Diagnóstico.

El tipo de análisis realizado por el servicio de diagnóstico (correctivo, preventivo o predictivo) dependerá tanto del modelado y diseño del servicio de monitorización como de las reglas de negocio definidas para el presente servicio. En la figura 5-46 se muestra el diagrama de secuencia que describe el comportamiento del *servicio de diagnóstico*.

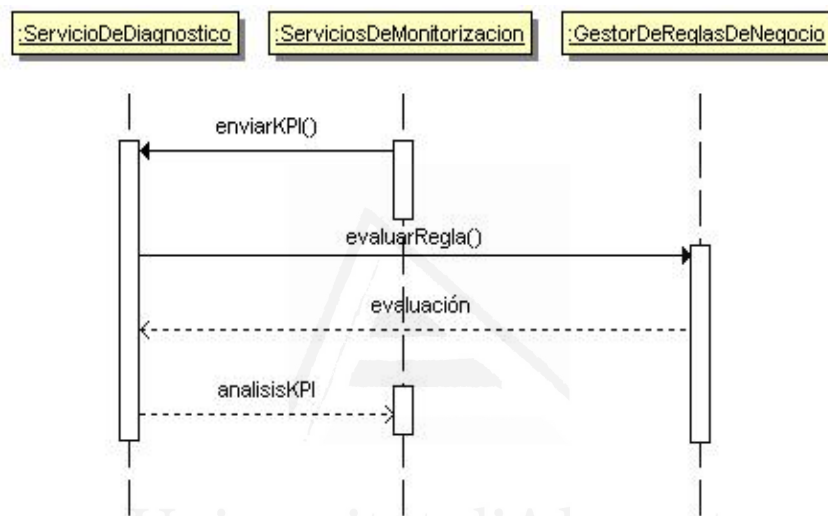


Figura 5-46. Modelado UML de los Servicios de Entidad.

El servicio de decisión es otro de los servicios orientados a la tarea que es utilizado para la orquestación por los servicios de monitorización. *El servicio de monitorización* correspondiente le invoca pasándole como parámetro los valores de desviación obtenidos por el servicio de diagnóstico. A partir de estos valores y de las reglas de decisión definidas por el ingeniero de procesos el servicio establece la acción correctora a realizar, bien modificando el comportamiento del servicio de producción correspondiente, o bien, notificando un aviso al sistema BPMS central a través del servicio de notificación. La definición del servicio ha sido modelado mediante el diagrama de clases UML en la figura 5-47.

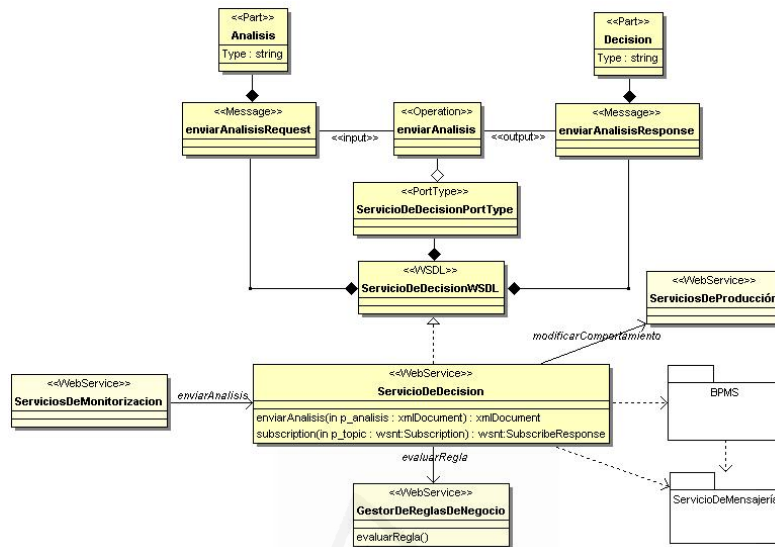


Figura 5-47. Modelado UML del Servicio de Decisión.

En la figura 5-48 se muestra el diagrama de secuencia que describe el comportamiento del servicio de decisión.

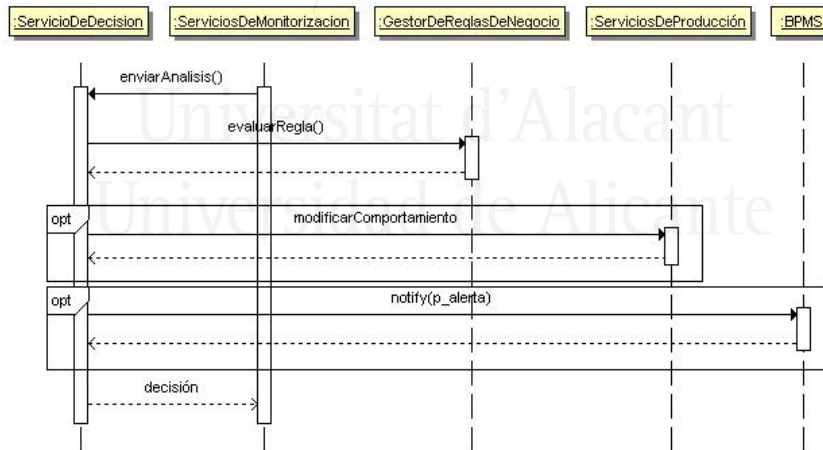


Figura 5-48. Diagrama de secuencia del Servicio de Decisión.

A partir de la arquitectura mínima, el ingeniero de procesos podrá componer los servicios de producción (servicios de proceso y servicios de monitorización) que reflejen el mapa de procesos de la maquinaria industrial y su gestión y personalizar a través de la

definición de reglas de negocio el comportamiento de los servicios de negocio orientados a la tarea. Los servicios definidos por el ingeniero de procesos se basan en la orquestación de servicios y vendrán representados por sus correspondientes hojas BPEL y WSDL. Como resultado final del proceso se obtiene la arquitectura IMaaS, Maquinaria industrial como un Servicio, que permite eliminar las restricciones conceptuales y tecnológicas visualizando la maquinaria industrial como un conjunto de procesos de negocio que puedan ser modificados de una forma ágil y flexible, alineándolos con los cambios que se produzcan en los objetivos estratégicos del negocio originados por el dinamismo del entorno (figura 5-49).

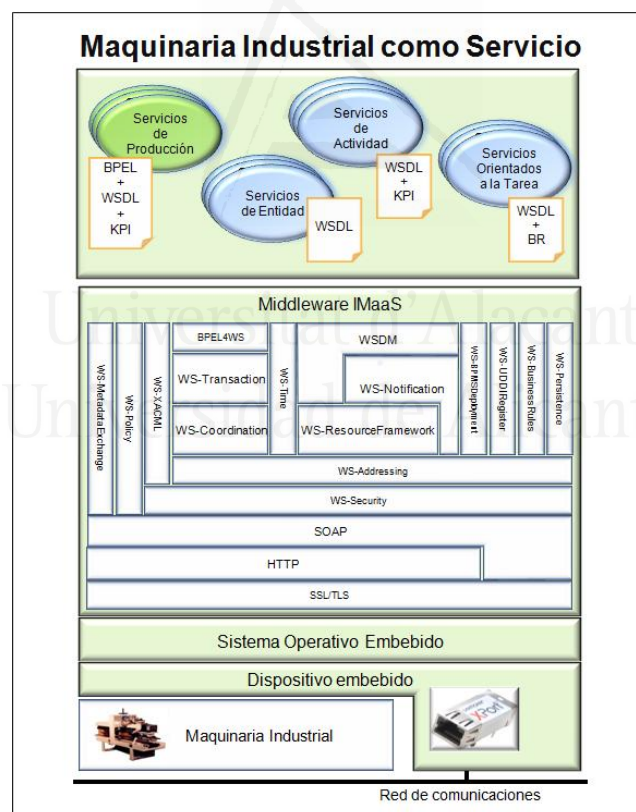


Figura 5-49. Arquitectura IMaaS de la maquinaria industrial

Capítulo 6

Pruebas y Validación

En el primer capítulo se describió el marco metodológico científico utilizado para llevar a cabo el presente trabajo, siendo *el método hipotético-deductivo* el procedimiento general que ha guiado todo el proceso de investigación. La última etapa del método tiene como objetivo la validación o refutación de la hipótesis a través de la experimentación (método científico). Para ello es necesario definir un conjunto de experimentos derivados de la hipótesis que sirvan para validar la propuesta y diseñar e implementar un escenario en un entorno realista que permita llevar a cabo estos experimentos.

El presente capítulo se centra en estos dos aspectos: el diseño e implementación del escenario de pruebas que permita validar la propuesta y, a partir de la definición del escenario, en la descripción de los experimentos que se han llevado a cabo para validar la propuesta junto con los resultados y conclusiones obtenidos tras la experimentación.

En este capítulo se puede destacar varias aportaciones principales que serán desarrolladas en los siguientes apartados. En primer lugar la implementación de un motor SOAP específico para dispositivos embebidos con una limitación de recursos. En la misma línea un motor de orquestación WS-BPEL también para dispositivos embebidos que posean recursos limitados. Por

último, la implementación de la arquitectura IMaaS completa a partir de la integración de soluciones de código abierto de terceros.

Diseño e Implementación del Escenario General

El escenario propuesto recoge un entorno realista centrado en el ámbito general del problema del presente trabajo, la gestión de los procesos en el entorno de la manufacturación conforme a los nuevos modelos de negocio, donde se puede reproducir el problema tratado en la presente tesis, la integración de los procesos de fabricación en los sistemas de gestión de procesos e-Business.

Como se ha mencionado a lo largo del presente trabajo de investigación las plataformas BPMS son los sistemas de gestión más adecuados para cumplir los requerimientos de los nuevos modelos de negocio y producción. En gran medida este hecho se ha producido gracias a la sinergia entre dichos sistemas y el binomio *SOA-Servicios Web* ofreciendo ventajas como la interoperabilidad, desacoplamiento, composición, etc., propiedades que garantizan el cumplimiento de los requerimientos de los nuevos modelos como la gestión ágil, dinámica e integral en los SGP.

Por este motivo, el escenario propuesto se centra en un sistema BPMS sustentado sobre el paradigma *SOA Contemporáneo* siguiendo el patrón *basic matchmaker* (Dillon *et al.*, 2008). El escenario está formado por los siguientes elementos: el sistema de fabricación IMaaS, el sistema de gestión de procesos de negocio (BPMS) y el sistema de información donde el sistema de fabricación podrá realizar el rol de proveedor y consumidor de servicios, el sistema de información engloba al intermediario de servicios y el sistema de gestión de procesos de negocio representa el rol de consumidor de servicios (figura 6-1). Para

nuestro escenario los roles adquiridos por los componentes vendrá determinado por el experimento que se vaya a realizar.

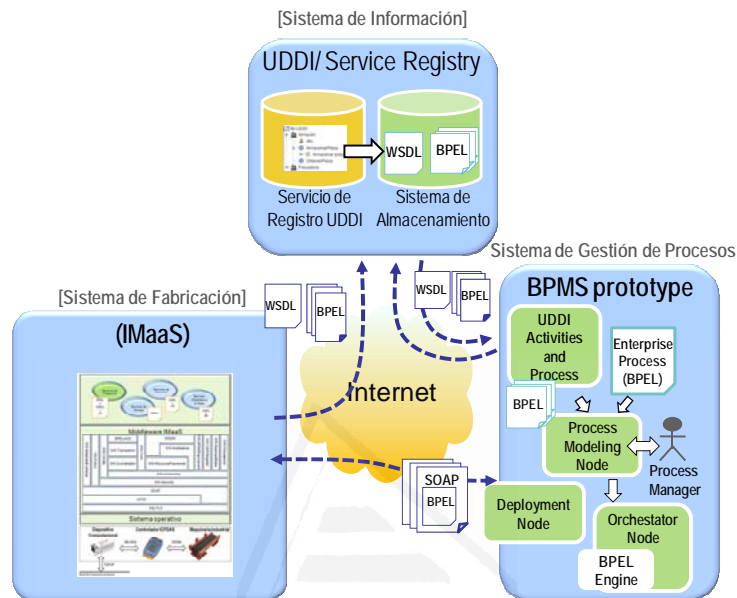


Figura 6-1. Escenario general de pruebas.

El sistema de información tiene como objetivo almacenar toda la información necesaria de los procesos y actividades definidos por los proveedores de servicios para que puedan ser invocados por los consumidores de servicios de una forma desacoplada. Para llevar a cabo esta tarea se han definido dos elementos funcionales: el registro UDDI y el sistema de almacenamiento como se muestra en la figura 6-1.

El registro UDDI es responsable de almacenar la información necesaria para localizar los documentos WSDL y BPEL que describen la interfaz de acceso, la ubicación física y el protocolo de comunicación de los Servicios Web y el flujo de trabajo de los Servicios Web orquestados. El registro provee las funcionalidades necesarias para permitir el descubrimiento dinámico de dicha información ofreciendo para ello una interfaz de acceso que permite por un lado, el registro de la información abstracta y técnica de los Servicios Web proporcionados por los proveedores

de servicios para que puedan ser consumidos, y, por otro lado, proporciona una interfaz de acceso para la localización y el descubrimiento de dicha información que será utilizada por los consumidores de servicios para invocar a los procesos (Servicios Web orquestados) y actividades (Servicios Web atómicos).

El sistema de almacenamiento se encarga del almacenamiento físico de los documentos descriptivos de los Servicios Web, las hojas WSDL y BPEL, de aquellos dispositivos proveedores de servicios que por sus limitaciones de recursos no puedan almacenarlas.

El sistema de gestión de procesos de negocio BPMS es el responsable de la gestión centralizada de todos los procesos de la organización. El sistema BPMS accederá al registro UDDI del servicio de información para descubrir todos los servicios que exponen la funcionalidad de los elementos de producción y de los sistemas de gestión empresarial de la organización. A partir de esta información el ingeniero de procesos podrá modelar los procesos de la compañía alineándolos con los objetivos estratégicos de la organización para posteriormente desplegarlos en sus respectivos sistemas de ejecución. Aunque por definición, como vimos en el estado del arte y en el capítulo 4, un sistema BPM posee muchas más funcionalidades (monitorización, análisis, optimización, etc.) para validar la propuesta únicamente se requiere la capacidad de modelado, despliegue y descubrimiento.

El sistema de fabricación o producción implementa la arquitectura propuesta en el presente trabajo de investigación, la maquinaria industrial como servicio (arquitectura IMaaS). Este módulo es el encargado de la ejecución y gestión de los procesos de fabricación modelados por el ingeniero de procesos. Los componentes IMaaS ofrecen la infraestructura adecuada para convertir la gestión de los procesos de fabricación en un proceso ágil y dinámico, integrado con el resto de procesos de negocio de la organización. Dentro de nuestra arquitectura SOA cada uno de los elementos IMaaS que componen el sistema de fabricación pueden actuar con dos roles diferentes. El primer rol, como proveedor de

servicios, se adoptará cuando algún consumidor invoque a cualquiera de los servicios que definimos en el modelo (servicios de producción, servicio de despliegue, servicio de interacción y modelado, etc.). El segundo rol, consumidor de servicios, se adoptará cuando la propia maquinaria IMaaS quiera invocar cualquier proceso o actividad expuesto como servicio de otro elemento de la organización, cuando envía información o avisos al sistema de alerta central o, cuando por temas de limitación de recursos haya externalizado alguno de sus servicios.

Para llevar a cabo la validación de la propuesta en un entorno realista se ha realizado una implementación del escenario descrito anteriormente. En los siguientes apartados se describe el diseño y la implementación de cada uno de los módulos que componen el escenario y las tecnologías implicadas.

Sistema de Información

Para llevar a cabo la funcionalidad asociada al registro UDDI del sistema de información se ha utilizado la implementación Apache jUDDI (jUDDI, 2010). Se trata de una implementación de código abierto escrita en Java de la especificación UDDI (Universal Description, Discovery and Integration) que se describió en el estado del arte. En concreto, para el escenario descrito se ha utilizado la versión jUDDI v2 que implementa la especificación 2.0 de UDDI. Aunque, actualmente, la última versión de jUDDI soporta la especificación 3.0 de la especificación UDDI, ésta no aporta nuevas características necesaria para la validación de la propuesta. JUDDI soporta una amplia gama de sistemas de gestión de bases de datos relacionales. En el escenario se ha utilizado la distribución MySQL 5.0. Por último, jUDDI necesita un Contenedor Web para su ejecución. Para llevar a cabo la propuesta de escenario se ha utilizado el contenedor Web Apache Tomcat 5.5.

Además, cumpliendo con los requisitos mencionados en los temas anteriores se ha implementado un módulo escrito en

lenguaje Java denominado *sincronizarRegistroUDDI* responsable de eliminar la información de aquellos servicios que no se encuentren disponibles mediante técnicas de sondeo conocidas como *polling*. El módulo accederá a la base de datos juddi para obtener los puntos de acceso físico (URLs) de cada Servicio Web registrado. Este proceso lo realiza cada 30 minutos pero puede ser modificado. Posteriormente realiza un sondeo para comprobar que todos los servicios se encuentran disponibles, en principio sólo comprueba que el dispositivo donde se ubica el servicios está disponible, aunque podría ser modificado para contemplar otros problemas de disponibilidad más concreto, como por ejemplo la caída del servidor Web, etc. Si obtiene una respuesta del dispositivo sigue comprobando otros servicios, en caso contrario borrará el servicio del registro para evitar acceso a servicios no disponibles a través de la red.

Las funcionalidades del sistema de almacenamiento son llevadas a cabo por el sistema de archivos del sistema operativo del servidor donde se ha desplegado el sistema de información. Para permitir el acceso a través de la URL a los documentos WSDL y BPEL que se han almacenado en el nodo físico del sistema de información, se ha implantado el servidor Web *Apache Web Server* integrado con el contenedor Apache Tomcat sobre el que se sustenta el servicio jUDDI.

Tabla 6-1. Servicios del sistema de información.

Tecnología	Descripción
Apache jUDDI v0.9rc4	Implementación de la especificación UDDI v2.0
Apache Tomcat v5.5	Contenedor Web
MySQL v5.0	Sistema de gestión de base de datos
Apache Web Server	Servidor Web
JDK v1.5	Máquina virtual de java

A nivel físico el sistema de información del escenario propuesto para la validación se compone de un PC en el que se han implantado los servicios mostrados en la tabla 6-1.

Sistema BPMS

Un sistema BPMS es una plataforma software que integra todas las funcionalidades del ciclo de vida del modelo BPM como se vio en el estado del arte.

Para validar la propuesta el sistema BPMS del escenario propuesto únicamente debe contemplar los aspectos de modelado de procesos, despliegue, descubrimiento y ejecución como se muestra en la figura 6-2, pudiendo contemplar el resto de funcionalidades en una fase posterior a esta investigación.

Para ello, el sistema BPMS descrito en el escenario se compone de tres sistemas, el de descubrimiento, el de modelado o diseño y el de despliegue.

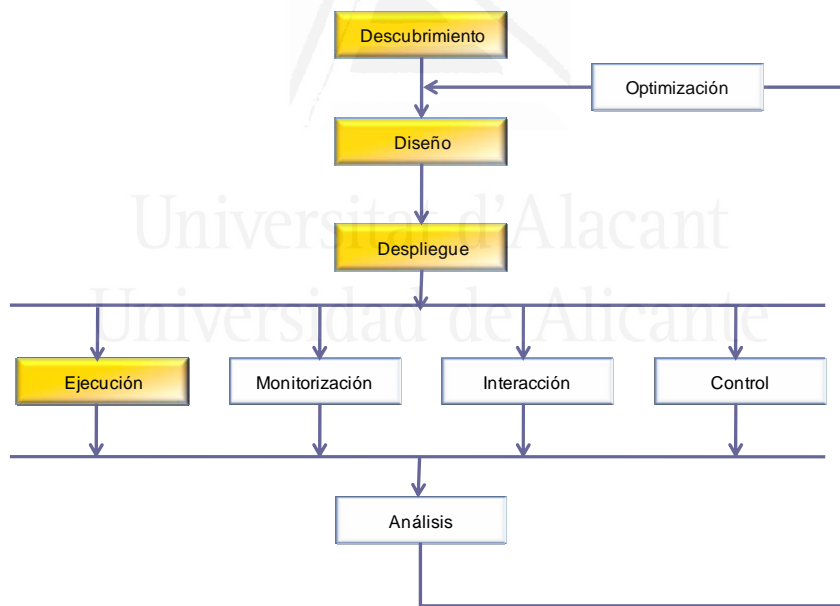


Figura 6-2. Servicios del sistema BPMS.

El sistema de descubrimiento accederá al registro UDDI para localizar y descubrir de forma dinámica los Servicios Web que exponen la funcionalidad de los procesos y de las actividades a partir del registro de sus documentos BPEL y WSDL (servicios orquestados y atómicos). Otra funcionalidad del sistema consiste en la publicación de los documentos BPEL y WSDL que han sido modelados desde el sistema BPMS.

El sistema de modelado, a partir de los procesos y actividades descubiertos por el sistema anterior permite a los ingenieros de procesos componer nuevos procesos o modificar y eliminar los existentes.

El sistema de despliegue es el responsable de enviar los documentos BPEL resultantes del modelado de procesos al nodo IMaaS correspondiente para ejecutar y gestionar dicho proceso.

El sistema de ejecución del BPMS es responsable de la ejecución del proceso para aquellos casos donde el nodo IMaaS no pueda albergar un motor BPEL por restricciones de recursos o por tratarse de un sistema heredado que no contemple la arquitectura IMaaS.

Para implementar el prototipo del sistema de gestión de procesos BPMS se ha utilizado como base el entorno *Eclipse Europa* con la versión v3.2. El sistema de modelado ha sido implementado mediante el uso del *plug-in* de código abierto *Eclipse BPEL Designer* (BPELP, 2010) bajo la licencia pública de Eclipse (EPL) que permite el modelado procesos mediante el estándar WS-BPEL 2.0. Para implementar el sistema de ejecución se ha utilizado el motor BPEL *Apache ODE* (ODE, 2010) del grupo *Apache*. Se trata de un motor de orquestación de servicios que implementa el estándar WS-BPEL 2.0. Además, se ha utilizado el *plug-in* de Eclipse para la definición de reglas que proporciona JBoss Rules 4.0.

Para cubrir las funcionalidades de descubrimiento y despliegue ha sido necesaria la implementación de un módulo más dentro

del entorno *Eclipse Europa* a través de su sistema de *plug-ins*. El *plugg-in* creado, *org.imaas.bpms1.0*, incluye la implementación de las funcionalidades de los dos sistemas, el de despliegue y el de descubrimiento con las siguientes características:

- Configuración de los parámetros de descubrimiento y despliegue mediante la opción *Crear archivo de configuración*.
 - Dirección de publicación y descubrimiento del registro UDDI.
 - Identificación de acceso del registro UDDI.
 - Nombre e identificador del negocio creado en el registro UDDI.
 - Ruta del proyecto donde se almacenará los documentos BPEL y WSDL si el dispositivo no puede hacerlo o si se van a ejecutar en el sistema BPMS.
 - URL de los dispositivos IMaaS donde se deben desplegar los procesos.
- Descubrimiento del procesos BPEL publicados en el registro UDDI según (Von Riegen & Trickovic, 2004) y (Colgrave & Januszewski, 2010) mediante la opción *Importar BPEL*.
- Registro de los servicios orquestados mediante BPEL en el servidor UDDI siguiendo las recomendaciones de (Von Riegen & Trickovic, 2004) y (Colgrave & Januszewski, 2010) mediante la opción *Registrar*. De momento, sólo se permite el registro de los procesos de uno en uno.

- Despliegue de los procesos expuestos como servicios y de las reglas a los prototipos implementados mediante la opción *enviar a dispositivo*.

Sistema de Fabricación

El objetivo de la implementación del sistema de fabricación es conseguir desarrollar un prototipo de la arquitectura IMaaS que permita validar la propuesta.

La propuesta se ha diseñado basada en el enfoque *holónico* (Koestler, 1967) donde la maquinaria industrial IMaaS se muestra como un sistema BPMS autónomo expuesto como servicios que el fabricante o ingeniero de procesos puede gestionar independientemente del dominio de aplicación, pero, que a su vez, cuando se integra en un dominio concreto de aplicación pasa a formar parte del sistema BPMS central.

En primer lugar se ha realizado una propuesta de un prototipo de una fábrica con el objetivo de lograr un diseño escalable, flexible y modular que permita configurar distintos escenarios reales con diferentes requerimientos de producción para validar la propuesta. El modelo está compuesto por dos plantas cada una de ellas formadas por diversos módulos.

El diseño de la primera planta (figura 6-3) se realizó pensando en un modelo que contemplase un amplio abanico de configuraciones de procesos de fabricación para validar la propuesta, asegurándose además que la planta fuera escalable y extensible con el fin de introducir ampliaciones de forma sencilla. Para ello la planta se dividió en tres módulos complementarios que en conjunto dotan a la planta de las características mencionadas.

El primer módulo, figura 6-3a, se compone de un sistema de almacenamiento inteligente que sirve de *buffer* intermedio tanto para las piezas utilizadas en los distintos procesos que se pueden realizar en la planta como para las que provengan de otras

plantas o módulos. Este módulo incorpora un controlador industrial que ofrece una interfaz serie para gestionar el almacén.

Gran parte de las características de escalabilidad y extensibilidad son proporcionadas por el segundo módulo (figura 6-3b). Este módulo está compuesto por una línea de fabricación flexible formada por tres máquinas herramientas independientes con su propia cinta transportadora, tres cintas transportadoras y dos mesas giratorias (figura 6-3b). La línea de fabricación flexible está formada por una fresadora vertical (MT1), una taladradora de tres ejes (MMT2) y una mandriladora-fresadora vertical (MT3) que hacen posible la simulación de multitud de procesos. Además, el módulo incluye una serie de cintas transportadoras y tablas giratorias que permiten por un lado, conectarse con los otros dos módulos y por otro lado, conectarse con nuevas plantas o módulos. Esto hace posible que piezas provenientes de otra planta podrían utilizar cualquiera de los elementos de producción o combinación de ellos. El módulo incorpora cuatro controladores industriales con una interfaz serie para gestionar los elementos, uno para cada máquina herramienta y otro para controlar las cintas transportadoras independientes y las mesas giratorias.

El tercer módulo amplía el conjunto de procesos que se pueden realizar a través de una celda de proceso de fabricación formada por una mandriladora-fresadora vertical con forma de *U* que permite la entrada de material por ambos extremos gracias a la incorporación de un sistema de transporte de carril. Éste permite la conexión con el módulo dos y ofrece la posibilidad de la recepción y salida de piezas por ambos lados de los módulos. En la figura 6-3c se muestra la tabla de todos los elementos que componen el módulo. Este módulo también incorpora un único controlador industrial que ofrece una interfaz serie para gestionar todos los elementos del módulo.

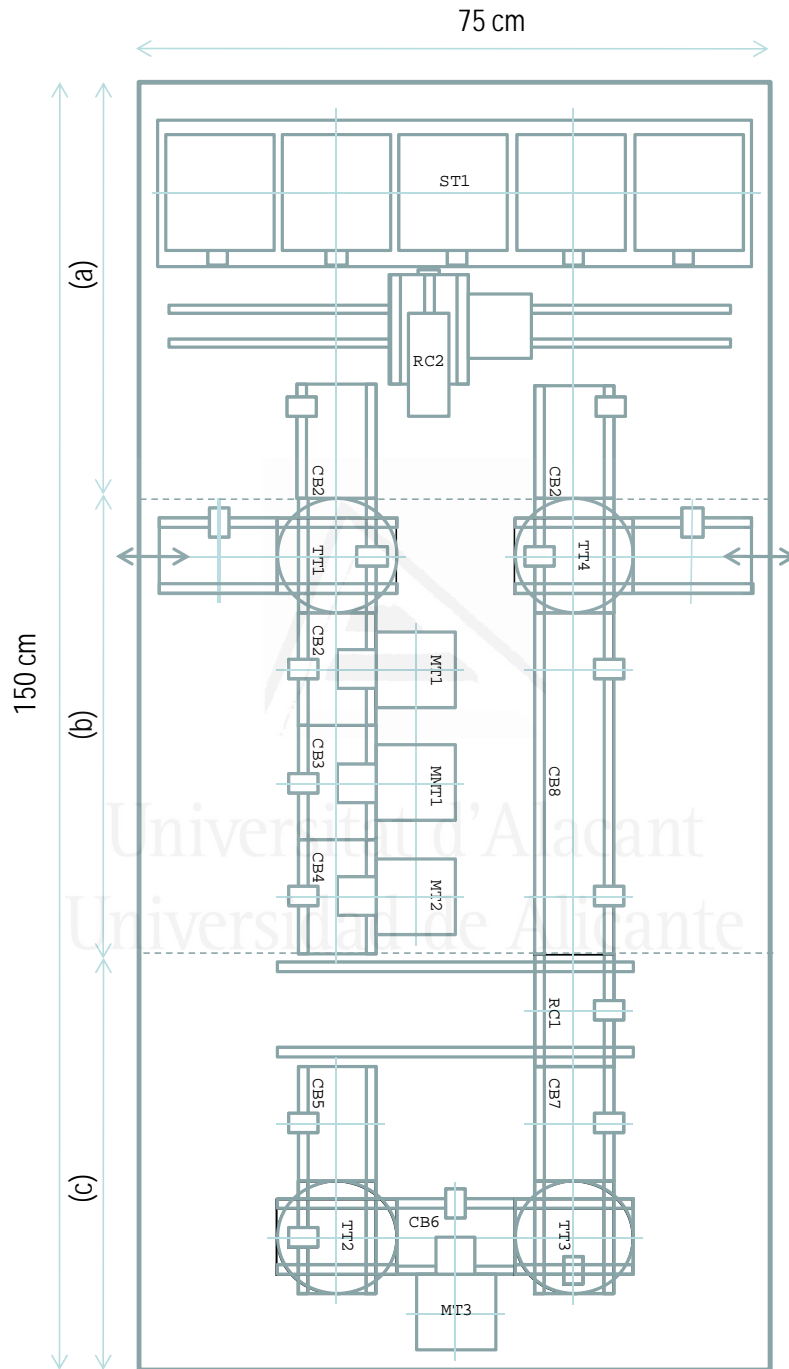


Figura 6-3. Diseño de la planta industrial 1.

La segunda planta se ha diseñado con los mismos objetivos que la anterior pero haciendo hincapié en la modularidad de los elementos con el objetivo de poder configurar diversos escenarios. Para ello cada módulo se ha diseñado siguiendo el modelo en forma de *L* de la figura 6-4.

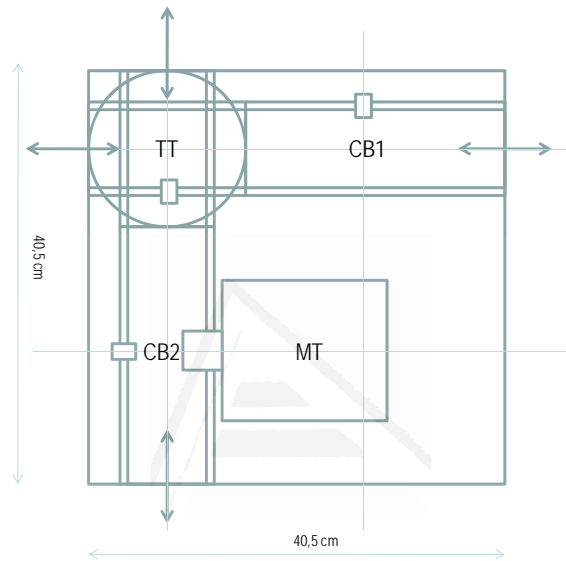


Figura 6-4. Prototipo de la fábrica industrial marca STAUDINGER GMHB.

Cada módulo se compone de dos cintas transportadoras (CB1 y CB2) que permiten la entrada y salida de material y la conexión con otros módulos, unidas por una mesa giratoria (TT) y una máquina herramienta (MT) que actúa sobre una de las cintas transportadoras para el procesado del material.

La planta diseñada se compone cinco módulos independientes. Cuatro de ellos siguen el patrón definido en la figura 6-5 y el módulo restante consiste de un carro de transporte por carril que permite mover las piezas entre cualquiera de los otros cuatro módulos posibilitando la generación de diferentes escenarios. Cada uno de los módulos es gestionado por un controlador industrial que ofrece una interfaz de comunicación serie.

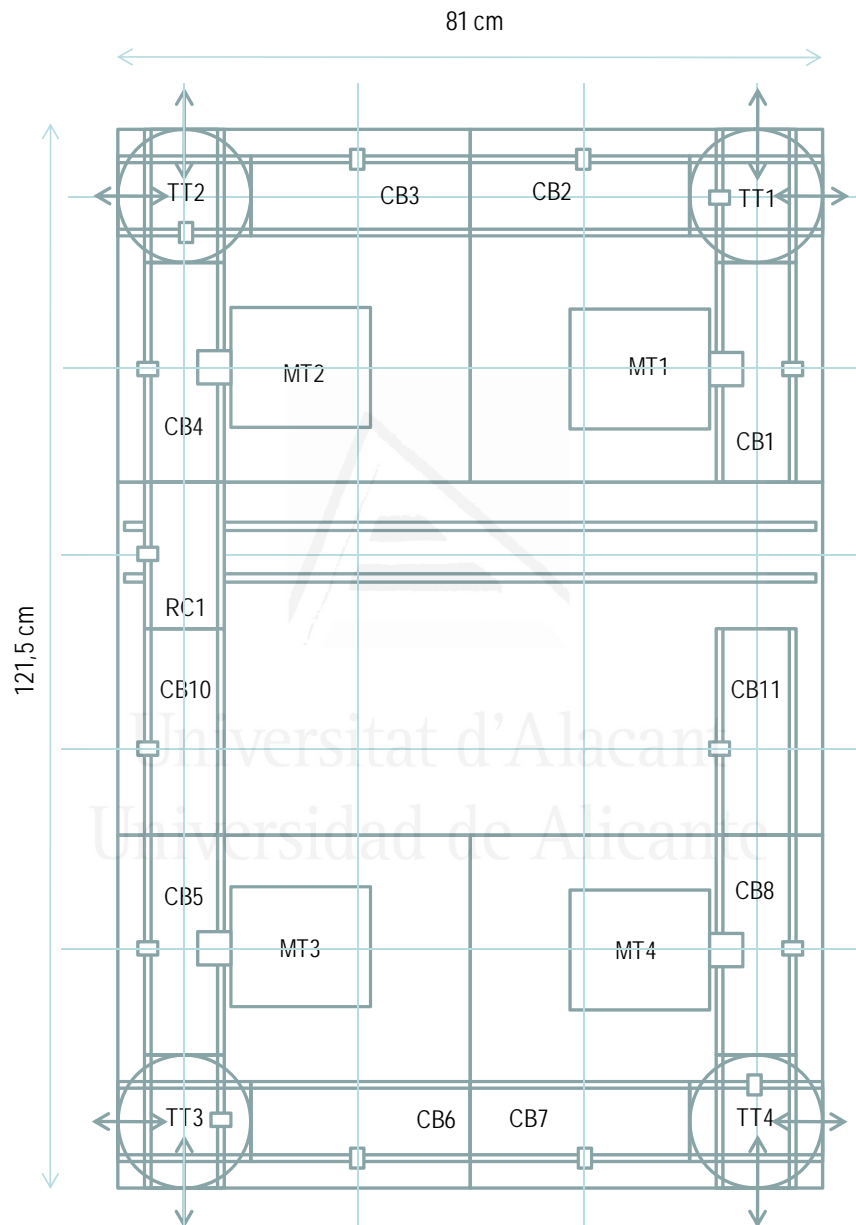


Figura 6-5. Diseño de la planta industrial 2.

La implementación del diseño propuesto ha sido realizado por la empresa STAUDINGER GMHB (Staudinger, 2010) (figura 6-6 y figura 6-7) donde cada uno de los componentes industriales incluye un controlador de la marca ICPDAS (ICPDAS, 2010), modelo I-7055D que ofrece una interfaz serie RS-485 y 16 canales digitales de entrada-salida independientes que permiten mediante el uso del protocolo propietario DCOM (DCOM, 2010) la gestión de la maquinaria. Además, se han utilizado otros dos controladores modelos ICPDAS I-7520 e ICPDAS I-7561, uno como transformador RS-485 a RS-232 y otro como pasarela RS485 a USB debido a que estas interfaces son más comunes en los dispositivos computacionales.

La maquinaria utilizada para llevar a cabo las pruebas representa el objeto de entrada descrito en el proceso de normalización conceptual de la maquinaria industrial que debe ser transformado a una arquitectura IMaaS. Esta maquinaria se enmarca dentro del grupo de bajo nivel que se definió en el proceso de normalización hardware del capítulo 5 por lo que es necesario conectar a través de la interfaz del controlador ICPDAS un sistema computacional que permita sustentar el modelo IMaaS como muestra la figura 6-8.

Para llevar a cabo la implementación del prototipo se han utilizado dos dispositivos embebidos como son el dispositivo de la marca Lantronix denominado XPort (XPORT, 2010), el dispositivo de la marca MOXA modelo UC-7110-LX (MOXA, 2010) y, por último, se ha utilizado también un PC de dimensiones reducidas de la marca Asus modelo EEE Box (EEEBBox, 2010). A continuación se describen los prototipos IMaaS realizados con cada uno de los dispositivos y las problemáticas encontradas.



Figura 6-6. Prototipo de la fábrica industrial marca STAUDINGER GMHB vista de perfil y planta superior.



Figura 6-7. Prototipo de la fábrica industrial marca STAUDINGER GMHB vista de perfil y planta superior.

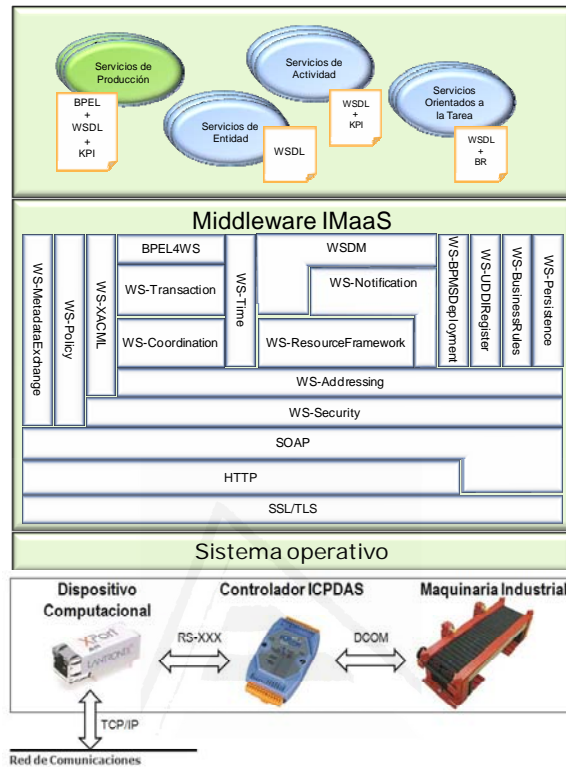


Figura 6-8. Prototipo genérico IaaS.

Prototipo IaaS-XPort

El XPort es un dispositivo embebido de la marca Lantronix, como se comentó anteriormente, que ofrece una solución integrada para la gestión y control de dispositivos electrónicos comportándose como una pasarela Ethernet-Serie y permitiendo su acceso mediante una interfaz Web. Además posee un conjunto de características que le hacen adecuado para implementar el prototipo IaaS como: su bajo coste económico y de consumo energético, alta velocidad de respuesta, robustez, posibilidad de ampliar su funcionalidad mediante el uso del lenguaje C estándar, capacidad de manejar diversos protocolos estándar de red como la pila TCP/IP o los protocolos DHCP, HTTP, etc. En la tabla 6-2 se detallan sus características técnicas.

Tabla 6-2. Resumen características del dispositivo XPort.

Característica	Descripción
CPU, Memoria	Microprocesador de 16 bits Lantronix DSTni-EX 186 CPU, 256 KB zero wait state SRAM 512 KB Flash, 16 KB Boot ROM
Firmware	Actualizable por TFTP y puerto serie
Interfaz Serial	CMOS (Asíncrono) Niveles de Voltaje de 3.3V Tasa de Transferencia (300 bps to 921600 bps)
Formato Serial	7 ó 8 bits de datos, 1-2 bits de parada, Paridad: Par, Impar, ninguna
Control de Flujo	XON/XOFF (software), CTS/RTS (hardware), ninguna
Pines de I/O	3 PIO pines (Seleccionables por software) 4mA max.
Interfaz de Red	RJ45 Ethernet 10BASE-T o 100BASE-TX (auto-detección) Vers 2.0/IEEE 802.3
Protocolos Soportados	ARP, UDP/IP, TCP/IP, Telnet, ICMP, SNMP, DHCP, BOOTP, TFTP, Auto IP, and HTTP
Administración	Servidor web interno, SNMP, Serial, Telnet
Security	Protección por Contraseña, Encriptación Rijndael 128-, 192-, ó 256-bit
Servidor Web	Capacidad de almacenamiento de páginas web 384 KB
Peso	9.6 gramos



XPORT

La maquinaria utilizada para llevar a cabo las pruebas representa el objeto de entrada descrito en el proceso de normalización conceptual de la maquinaria industrial que debe ser transformado a una arquitectura IMaaS. Esta maquinaria se enmarca dentro del grupo de bajo nivel que se definió en el proceso de normalización hardware del capítulo 5 por lo que es necesario conectar a través de la interfaz del controlador ICPDAS un sistema computacional que permita sustentar el modelo IMaaS como muestra la figura 6-9.

El XPort incluye un sistema operativo propietario de tiempo real llamado *CoBox* sobre el que se ha podido llevar a cabo el desarrollo de los módulos necesarios. Para ello ha sido necesario establecer un acuerdo de confidencialidad con la empresa Lantronix. Una de las grandes ventajas de este dispositivo es incorporar un Servidor Web sobre el que sustentar la arquitectura IMaaS.

No obstante, el dispositivo ha presentado algunas limitaciones en sus recursos que ha imposibilitado el desarrollo completo de la

arquitectura como se muestra en la figura 6-9. En ella se puede ver marcado en color naranja los servicios que se han desarrollado, pero no por ello, ha impedido demostrar la validez de la propuesta.

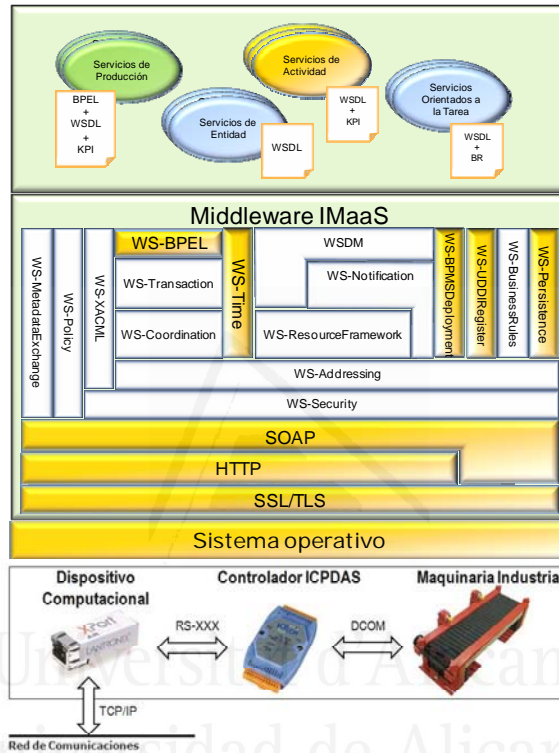


Figura 6-9. Prototipo genérico IaaS-XPoRT.

Normalización del Hardware

Para poder realizar la integración entre el dispositivo XPort y la maquinaria industrial, debido a que los controladores del escenario (ICPDAS I-7055D) operan con el estándar RS485, se ha dotado al XPORT de un módulo que implemente este estándar. Las características principales del RS485 son su posibilidad de transmisión de datos a grandes distancias así como la utilización de modelos en control automático del tipo maestro/esclavo. El modelo de XPORT utilizado carece de este estándar industrial

pero posee el estándar de comunicación serie RS232 que puede ser fácilmente acoplado mediante la utilización de un circuito integrado del tipo MAX485, el cual es gestionado mediante los pines de control del XPORT.

En la interfaz implementada para la gestión de la maquinaria, figura 6-10, se ha añadido un selector que permite conmutar los estándares en comunicaciones RS232 y RS485. Esto se ha realizado con el fin de dejar un canal de configuración y gestión para el sistema embebido y a su vez para crear el puente entre el sistema de gestión y los módulos ICPDAS que forman parte del escenario de simulación industrial.

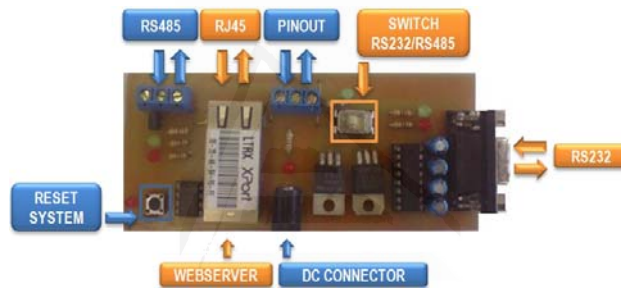


Figura 6-10. Interfaz de integración con la maquinaria industrial.

En la figura 6-11 se muestran todos los elementos utilizados para dotar de capacidad de computación y comunicación a la maquinaria industrial.

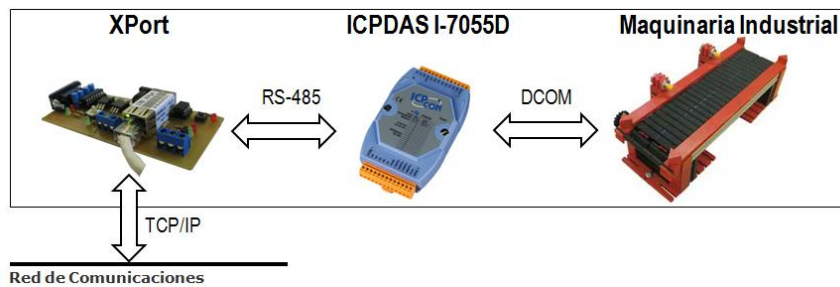


Figura 6-11. Elementos de integración del prototipo IMaaS-XPort.

Para finalizar el proceso y obtener la maquinaria industrial computacional como sistema operativo se utilizará, como se vio anteriormente, el sistema operativo CoBox que incluye el XPort.

Normalización del Middleware

El dispositivo XPort incluye la implementación de un conjunto de protocolos y estándares de red como SSL y HTTP, este último implementado mediante el Servidor Web que incluye el dispositivo. El servidor Web incluido en el XPort soporta la tecnología CGI mediante la cual se ha desarrollado el resto de funcionalidades definidas en la figura 6-9.

En el caso del dispositivo XPort, para implementar el contenedor industrial (middleware embebido) resultante del proceso de normalización del middleware se ha desarrollado los siguientes módulos:

- Módulo SOAP.
- Módulo UDDI.
- Módulo de Despliegue.
- Motor WS-BPEL.
- Módulo de Persistencia.
- Módulo de Tiempo.

A continuación se describe los principales módulos implementados para el XPort.

Módulo SOAP

El módulo SOAP implementa una versión reducida de la versión 1.2 del estándar SOAP debido a las limitaciones de recursos del dispositivo (SOAP embebido). Se trata del elemento central del *framework* en el que se apoyan el resto de servicios para su funcionamiento. Las decisiones de diseño de los diferentes módulos han sido condicionadas por las características del dispositivo.

Para llevar a cabo la gestión de los servicios ha sido necesario almacenar los métodos que ofrecen éstos. Para hacer esto se han utilizado las estructuras que aparecen en la figura 6-12.

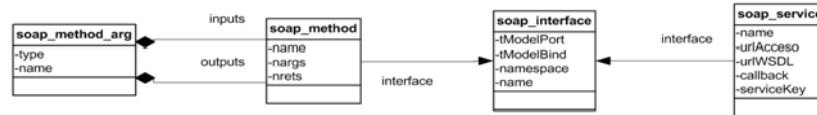


Figura 6-12. Estructuras SOAP para almacenar los servicios y sus métodos.

Como se puede apreciar en la figura, se utiliza el concepto de interfaz para simplificar, en la medida de lo posible, el almacenamiento de los servicios. Esto quiere decir que se puede introducir una interfaz con sus métodos y más tarde introducir varios servicios que implementen la interfaz y por lo tanto todos los métodos de ésta. En cuanto a los métodos resaltar el hecho de que pueden recibir y retornar múltiples parámetros de tipos simples, es decir, booleano, enteros y cadenas de texto.

En los siguientes puntos se tratará con más detenimiento como se definen las interfaces y como el servicio debe implementar los métodos de ésta.

En lo referente a las tablas que utiliza el módulo SOAP para su correcto funcionamiento, queda mencionar una estructura llamada *soap_method_data* que consiste en dos listas de atributos, que serán utilizados para enviar los valores de los parámetros de entrada y recibir los valores de salida durante la llamada a un servicio.

Interfaz SOAP

El módulo SOAP ofrece los siguientes métodos para crear un servicio específico:

- El método *soap_interface_register* encapsula la funcionalidad necesaria para que el módulo SOAP se

comunique con el módulo UDDI para registrar la interfaz en el directorio. Una vez la interfaz se ha registrado en el directorio UDDI se almacena en las tabla *soap_interface* junto con su espacio de nombres y su nombre. De momento permanecerá registrada sin métodos.

- El método *soap_method_register* añade un método a una interfaz. Esto no tiene repercusiones directas en UDDI. Este método inicialmente no tendrá parámetros ni de entrada ni de salida.
- El método *soap_method_add_arg* permite que dado un método de una interfaz, se añada un parámetro de entrada. Los parámetros pueden ser de tres tipos: entero, cadena de caracteres y booleano.
- El método *soap_method_add_ret* permite que dado un método de una interfaz se añada un parámetro de salida. Los parámetros pueden ser de tres tipos: entero, cadena de caracteres y booleano.
- El método *soap_service_register* crea un servicio dentro del sistema. Este método realiza la comunicación pertinente con la capa UDDI para registrar el servicio en el servidor jUDDI. Para dar de alta el servicio es necesario conocer el nombre del servicio, la URL con la que se puede acceder físicamente al servicio, la URL con la que se ubica la hoja WSDL, la interfaz que implementa el servicio y un acceso a la implementación. Con esto se simula en el sistema, en lenguaje C, la implementación de interfaces de otros lenguajes más modernos como Java o C#, es decir, para dar de alta un servicio por un lado se tiene que registrar la interfaz y por otro hay que definir la implementación de la misma. Esta implementación será un puntero a función, que nos proporcionará la entrada y salida al servicio, utilizando la estructura *soap_method_data* antes explicada.

Por otro lado, esta capa ofrece otros métodos para simplificar otras tareas:

- El método *soap_call* será lanzado cuando un servicio sea invocado por un cliente. Se encargará de leer la petición SOAP del paquete de entrada, rellenar a partir de esta la estructura *soap_method_data* y realiza la llamada al servicio adecuado. Una vez el servicio responde, el método compone el mensaje de respuesta y este es enviado de vuelta al cliente.
- El método *wSDL_callback* será lanzado cuando un cliente solicite el documento WSDL de un servicio. El método generará dinámicamente dicho descriptor y se lo retornará al cliente.

Generación de Servicios Web

A continuación se muestran un ejemplo del código necesario para implementar un Servicio Web en el prototipo XPort. En primer lugar, en la figura 6-13, se define como crear una interfaz sencilla invocando los métodos de SOAP.

```

/*Registro la interface*/
char al[]="es.ua.dtic.bases";//Espacio de nombres
char interfaz[]="IFactory";//Nombre de la interfaz
interface=soap_interface_register(s1,interfaz);//Creamos la interfaz
if (interface == -1) return -1;
//Método obtener sensores
char f3[]="Sensores";//Nombre del método
if ((mth=soap_method_register(interface, f3)) == -1) return -1;
for(i=0;i<base_num_sensores;i++){
    if(soap_method_add_ret(mth,SensoresControl[i].name, SOAP_DATA_TYPE_BOOLEAN) == -1)
        return -1;
}
...Más métodos
    
```

Figura 6-13. Ejemplo de definición de la interfaz.

En segundo lugar se debe definir la función que implementa la interfaz como se puede ver en la figura 6-14.

```

int imaas_base3_callback(char *name, struct soap_method *method, struct soap_method_data
+data)
{
    int arg;
    if (strcmp(method->name, f1) == 0)//Arrancar motor
    {
        MoverMotor(data);
        return 0;
    }
    if (strcmp(method->name, f2) == 0)//Detener motor
    {
        DetenerMotor(data);
        return 0;
    }
    if (strcmp(method->name, f3) == 0)//Estados sensores
    {
        ObtenerSensores(data);
        return 0;
    }
    if (strcmp(method->name, f4) == 0)//Estado máquinas
    {
        ObtenerMotores(data);
        return 0;
    }
    if (strcmp(method->name, f5) == 0)//set sensores
    {
        ActualizaSensores(data->args[0].v_string);
        return 0;
    }
    return -1;
}

```

Figura 6-14. Ejemplo de implementación del servicio.

Por último, es necesario hacer la llamada para registrar el servicio asociado a esta implementación como se muestra en la figura 6-15.

```

//nombre servicio, ipAcceso, dirWSDL, interfaz, función implementación
srv = soap_service_register(serv, ipe, serv, interface, imaas_base3_callback);
if (srv == -1) return -1;

```

Figura 6-15. Ejemplo de registro del servicio.

Una vez se ha registrado el servicio ya se puede consultar su WSDL generada dinámicamente e invocar el Servicio Web. En la figura 6-16 se muestra el acceso al documento WSDL del Servicio Web.

En la interfaz services.htm (figura 6-17) se puede ver un listado de los servicios que se encuentran publicados en el sistema. Para cada servicio se puede ver sus características principales, la interfaz que implementan y los métodos de manera similar a como se mostraban en la interfaz anterior.

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
- <wsdl:definitions targetNamespace="http://uno"
  xmlns:apache="http://xml.apache.org/xml-soap" xmlns:impl="http://uno"
  xmlns:intf="uno" xmlns:wsdl="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/"
  xmlns:wsdlsoap="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/soap/"
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">
- <wsdl:types>
  - <schema elementFormDefault="qualified" targetNamespace="http://uno"
    xmlns="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">
  - <element name="Arrancar">
    - <complexType>
      - <sequence>
        <element name="motor" type="xsd:string" />
        <element name="direccion" type="xsd:string" />
  
```

Figura 6-16. Documento WSDL de un servicio generado dinámicamente.

SERVICES

```

Service 0
  NAME redes
  URL_ACCESO http://172.19.33.155/redes
  VER WSDL
  INTERFACE (0) Redes
    Name:ping
  METHOD 0 Output:(INT conexion)
    Input:(STRING ip)
    Name:refrescar
  METHOD 1 Output:(VOID)
    Input:(VOID)
    Name:sigIP
  METHOD 2 Output:(STRING respuesta, INT quedan)
    Input:(VOID)
  
```

Figura 6-17. Interfaz gráfica que muestra un listado de servicios.

Modulo de Publicación

El módulo de publicación sigue las recomendaciones definidas en (Christensen *et al*, 2001) y (WS-BPEL, 2007) para el registro de los documentos WSDL y BPEL en el registro UDDI. Para publicar un servicio se debe conocer qué negocio tratamos, tanto su

nombre como el *businessKey* del negocio al que pertenecen sus servicios, y la dirección IP del servidor jUDDI (donde debe existir dicho *businessKey*). Utilizando este *businessKey* y consumiendo los Servicios Web ofrecidos por el registro UDDI, el módulo de publicación puede registrar los servicios. Esto se realiza en cuatro pasos como se indica en el diagrama de secuencia de la figura 6-X:

1. Obtener el token del registro UDDI. No se puede operar con el UDDI sin una previa autenticación del usuario para realizar operaciones. Para ello se solicita un *authToken* al UDDI utilizando el nombre del negocio, y dirigiéndonos a la IP en la que sabemos que reside el UDDI. Para ello se dispone de una función que devuelve esa clave para las sucesivas operaciones.
2. Registrar la interfaz
 - a. Registrar en UDDI el *portType* de la interfaz WSDL como un *tModelPortType*. Para este paso necesitamos el *authToken*, el nombre de la interfaz, la URL de acceso y su espacio de nombres. Se obtiene el *tModelKey* del *portType*.
 - b. Registrar en UDDI el *binding* de la interfaz. Se complementará el registro haciendo el *tModelBinding*, el cual referencia al *portType* y servirá para ser enlazado desde los servicios. Se obtiene el *tModelKey* del *Binding*.
3. Registrar el servicio en el UDDI. Por cada servicio que se tenga, se publicará su nombre y namespace correspondiente. Obtenemos el *serviceKey*.
4. Registrar el *binding*. Asociación de servicio, *portType* y *binding*. Finalmente, se asocia el servicio, interfaz (*tModelPortType* y *tModelBinding*), URL de acceso al

servicio y el nombre local del servicio, obteniendo un `bindingKey`.

Funcionamiento

Debido a las limitaciones de memoria del dispositivo XPort, no se pueden almacenar todos los mensajes SOAP necesarios para realizar el proceso de publicación en el registro UDDI descrito anteriormente. De este modo, se ha optado por almacenar como archivos externos, en la memoria flash del dispositivo, cada uno de los mensajes SOAP necesarios, utilizando las etiquetas con el patrón `<#...#>` en los lugares donde se deben sustituir posteriormente por los valores adecuados del servicio correspondiente. A continuación, en la figura 6-18 se muestra un ejemplo sencillo, como un mensaje de petición de un `authToken`, donde se necesita únicamente el identificador del `publisher`.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<soapenv:Envelope xmlns:soapenv="http://schemas.xmlsoap.org/soap/envelope/">
  <soapenv:Body>
    <get_authToken generic="2.0" xmlns="urn:uddi-org:api_v2"
      userID="#Publisher-id#" />
  </soapenv:Body>
</soapenv:Envelope>
```

Figura 6-18. Ejemplo mensaje AuthToken prototipo IMaaS-XPort.

Otros mensajes son mucho más complejos y requieren de más información, pero por cuestiones de espacio no se reflejan en este trabajo.

Interfaz de uso del módulo UDDI

Las funcionalidades descritas anteriormente para realizar la publicación de los servicios han sido encapsuladas en los siguientes métodos:

- `int get_authToken(char* publisherId, char* bufauthToken);`

- *int save_tModel(char* authToken, char* name, char* nameWSDL, char* nameSpace, char* bufModPort, char* bufModBinding);*
- *int save_service(char* authToken, char* name, char* nameSpace, char* localName, char* bufAux);*
- *int save_binding(char* authToken, char* serviceKey, char* url, char* tModelKey_PortType, char* tModelKey_Binding, char* instanceParams, char* bufAux);*

Módulo de motor BPEL

Uno de los principales problemas que se ha producido en el desarrollo del prototipo son las limitaciones de los recursos del XPort, como la memoria. La sintaxis del estándar WS-BPEL es compleja y, normalmente, el tamaño de estos documentos suelen ser extensos. Por estos motivos, el motor BPEL embebido se ha diseñado en base a un subconjunto de la sintaxis del lenguaje contemplando únicamente la sintaxis necesaria para plasmar los procesos de la maquinaria industrial como se muestra en la figura 6-19.

Actividades BPEL contempladas

En esta sección se describen las actividades del lenguaje BPEL que han sido desarrolladas en los módulos *bpel.c* y *bpl.c* para soportar la sintaxis descrita en la figura anterior.

La actividad *invoke* es utilizada para realizar llamadas a servicios web. En la figura 6-20 se puede ver que sintaxis debe seguir. Lo normal es que esta actividad reciba una variable de entrada y una de salida, pero en este caso se puede omitir cualquiera de ellas.

```

<process name="----" targetNameSpace="----" * >
  <import namespace="----" location="----" importType="----" */>
  <import namespace="----" location="----" importType="----" */>
  [Esperamos al menos un import]
  <partnerLinks>
    <partnerLink name="----" location="----" partnerLinkType="----"
      (myRole|partnerRole|*)="----"/>
    <partnerLink name="----" location="----" partnerLinkType="----"
      (myRole|partnerRole|*)="----"/>
  </partnerLinks>
  <variables>
    <variable name="----" xmlns:tns="----" messageType="----"/>
    <variable name="----" xmlns:tns="----" messageType="----"/>
  [Esperamos al menos una variable]
  </variables>
  <sequence>
    <receive *="*" [Se desecha el name] *="*" [Se desecha el createInstance]
      partnerLink="----" operation="----" *="*" [Se desecha el
        xmlns:tns]*="*" [Se desecha el portType] variable="----"/>
    [Receive: Con esta actividad recibimos una petición SOAP desde el
      exterior.]
    [Siempre tendremos una secuencia que comenzará con un receive y
      acabará con un reply. Como nuestro motor BPEL sólo soporta
      llamadas síncronas, no podrán aparecer más receives y replies. En
      medio de éstas podremos utilizar las funciones que explicamos en el
      siguiente punto.]
    <reply *="*" [Se desecha el name] partnerLink="----" operation="----"
      *="*" [Se desecha el xmlns:tns] *="*" [Se desecha el portType]
      variable="----"/>
    [Reply: Con esta actividad respondemos al cliente que ha realizado la
      llamada SOAP.]
  </sequence>
</process>

```

Figura 6-19. Sintaxis de las hojas BPEL del prototipo.

```

<invoke *="*" partnerLink="----" operation="----" *="*" portType="----"
inputVariable="----" outputVariable="----"/>

```

Figura 6-20. Sintaxis de la actividad *Invoke*.

Actividad *repeatUntil* es útil para la creación de bucles dentro de los procesos BPEL. El desarrollo de esta actividad ha requerido la implementación de un lenguaje de expresiones cuya gramática se puede apreciar dentro de la sintaxis de la actividad en la figura 6-21.

```

<repeatUntil *=""[Se desecha el name]>
[Siempre esperamos este sequence, que contendrá otras actividades anidadas]
<sequence>
  <condition>
  [Esta función contiene una expresión regular basada en la siguiente
  gramática]
    A --> not(E | E)
    E --> V | L
    L --> Var Op Var
    Op --> > | < | =
    Var --> V | int | string
    V --> $<nombre variable>.<nombre campo>
    [int y string se refieren a enteros y cadenas respectivamente]
  </condition>
</sequence>
</repeatUntil>

```

Figura 6-21. Sintaxis de la actividad *repeatUntil*.

Actividades *if*, *elseif* y *else* permiten tomar decisiones durante la ejecución del proceso. Estas también utilizan el lenguaje de expresiones definido para la actividad *repeatUntil*. En la figura 6-22 se puede ver la sintaxis de estas actividades y como deben situarse entre ellas.

```

<if *=""[Se desecha el name]>
  <condition>---</condition>
  <sequence>---</sequence>
  [Después del sequence pueden aparecer 0 o más elseif con el cuerpo que
  abajo aparece]
  <elseif>
    <condition>---</condition>
    <sequence>---</sequence>
  </elseif>
  [Por último, después de los elseif puede existir un else]
  <else>
    <sequence>---</sequence>
  </else>
</if>

```

Figura 6-22. Sintaxis de las actividades *if*, *elseif* y *else*.

La actividad *assign* es utilizada para realizar asignación de valores a estructuras y campos de estructuras. La implementación de esta actividad ha requerido el desarrollo de un sub-lenguaje de Xpath. En la figura 6-23 se puede ver el aspecto general de esta actividad, aunque después se explicará con más detalle el contenido de las etiquetas *from* y *to*.

```

<assign *>
  <copy>
    <from>---</from>
    <to>---</to>
  </copy>
</assign>

```

Figura 6-23. Sintaxis de la actividad *assign*.

La actividad *from* irá siempre empotrada en una actividad assign, y dentro de ésta se encargará de marcar el origen de la copia de datos. Como BPEL soporta distintos tipos de copia la actividad *from* puede tener distintos valores. En la figura 6-24 se tiene como origen un literal de cadena. Esto sirve para rellenar un campo de una variable (El CDATA es obligatorio).

```
<from>
  <literal><![CDATA[100]]></literal>
</from>
```

Figura 6-24. Ejemplo de actividad *from* utilizando un literal string como origen.

Otra manera que proporciona BPEL para especificar el origen es introducir el cuerpo completo de una variable. Esto sirve para dar valor a todos los atributos de una variable a la vez. En la figura 6-25 se puede ver un ejemplo de este tipo de *from* (El CDATA es obligatorio).

```
<from>
  <persona>
    <nombre><![CDATA[nombre]]></nombre>
    <peso><![CDATA[100]]></peso>
  </persona>
</from>
```

Figura 6-25. Ejemplo de actividad *from* utilizando un literal variable completa como origen.

Al igual que se puede introducir el valor manualmente en la hoja para dar valor a una variable, se puede introducir una referencia a otra variable. Utilizando esta variante de la actividad se copiará una variable a otra, campo a campo. En la figura 6-26 se puede ver como debe ser la sintaxis de la actividad *from* cuando se quiere utilizar una variable como origen.

```
<from variable="---" *></from>
```

Figura 6-26. Sintaxis de la actividad *from* para referenciar una variable completa.

Otra alternativa que ofrece BPEL es copiar un solo atributo de una variable, en lugar de copiarla totalmente. Para hacer esto se debe utilizar la sintaxis que aparece en la figura 6-27. Nótese que se necesita una expresión XPath para extraer el atributo de la variable.

```
<from variable="---" *>
  <query *>
    <![CDATA[expresión xpath]]>
  </query>
</from>
```

Figura 6-27. Sintaxis de la actividad *from* cuando referenciamos un atributo como origen.

La actividad *to* también se encontrará siempre empotrada en una actividad *assign* y dentro de ésta se encargará de establecer el destino de la copia de datos. Como ya se ha visto en la actividad *from*, se ha contemplado copiar a atributos de variables o a variables completas. De esta manera la actividad *to* sólo tiene dos variantes que a continuación explicamos.

La primera opción que se tiene es utilizar como destino una variable completa. La sintaxis de esta variante la podemos ver en la figura 6-28.

```
<to variable="---" *></to>
```

Figura 6-28. Sintaxis de la actividad *to* utilizando una variable completa como destino.

La otra opción es especificar como destino un atributo de una variable. En la figura 6-29, se puede ver la sintaxis que debe seguir esta alternativa, aunque como se puede apreciar es bastante similar al de la figura 6-27, valiéndose del sub-lenguaje XPath utilizado.

```
<to variable="---" *>
  <query *>
    <![CDATA[expresión xpath]]>
  </query>
</to>
```

Figura 6-29. Sintaxis de la actividad *to* utilizando un atributo de una variable como destino.

Una vez explicadas todas las actividades contempladas en el motor BPEL es posible crear hojas BPEL para cada servicio orquestado. En la figura 6-30 se puede ver un ejemplo de un hoja BPEL que el motor reconoce y ejecuta.

La implementación de estas actividades junto con las funcionalidades necesarias para manejar un documento BPEL son encapsuladas en el módulo *bpel.c*.

```

<process name="LlevarHastaFinal"
  targetNameSpace="http://enterprise.netbeans.org/bpel/cinta"
  xmlns="http://docs.oasis-open.org/wsbpel/2.0/process/executable"
  xmlns:xsd="http://www.w3c.org/2001/XMLSchema"
  xmlns:tns="http://enterprise.netbeans.org/bpel/cinta">
  <import namespace="http://172.19.33.241:8080" location="WS/cinta.wsdl"
    importType="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/"
  <partnerLinks>
    <partnerLink name="MoverCinta"
      xmlns:tns="http://172.19.33.241:8080"
      partnerLinkType="MoverCinta"
      myRole="MoverCinta">
    </partnerLink>
  </partnerLinks>
  <variables>
    <variable name="getSensor"
      xmlns:tns="http://172.19.33.241:8080"
      messageType="getSensor">
    </variable>
    <variable name="getSensor2"
      xmlns:tns="http://172.19.33.241:8080"
      messageType="getSensor2">
    </variable>
    <variable name="getSensorResponse"
      xmlns:tns="http://172.19.33.241:8080"
      messageType="getSensorResponse">
    </variable>
  </variables>
  <sequence>
    <receive name="Inicio" createInstance="yes"
      partnerLink="MoverCinta"
      operation="LlevarHastaFinal"
      xmlns:tns="http://172.19.33.241:8080"
      portType="MoverCinta"
      variable="getSensor"/>
    <assign name="Assign1" validate="no">
      <copy>
        <from variable="getSensor" part="payload">
          <query queryLanguage="urn:oasis:name:tc:wsbpel:2.0:
            sublang:xpath1.0:">
            <![CDATA[/tns:sensor]]>
          </query>
        </from>
        <to variable="getSensor2" part="payload">
          <query queryLanguage="urn:oasis:name:tc:wsbpel:2.0:
            sublang:xpath1.0:">
            <![CDATA[/tns:sensor]]>
          </query>
        </to>
      </copy>
    </assign>
    <reply name="Fin"
      partnerLink="MoverCinta"
      operation="LlevarHastaFinal"
      xmlns:tns="http://172.19.33.241:8080"
      portType="MoverCinta"
      variable="getSensorResponse"/>
  </sequence>
</process>

```

Figura 6-30. BPEL de ejemplo.

Proceso de lectura

Por las limitaciones de memoria los documentos BPEL no se encuentran ubicados en el propio dispositivo XPort. En un principio, solamente se dispone de la URL de localización, por lo que se debe solicitar al host en el que se encuentre alojada, leyéndola por completo mediante una petición SOAP. Ahora bien, una hoja BPEL tiene una o varias WSDL que definen las interfaces, por lo que también es necesaria su lectura a la hora de poder trabajar con la hoja BPEL. Por tanto, el autómata definido para leer la hoja BPEL, en este momento, almacena también las hojas WSDL para su posterior lectura. Con esta acción recopila la información necesaria para acceder a los Servicios Web incluidos en la hoja BPEL (como por ejemplo la URL de acceso a los servicios) y, en este momento, el XPort se encuentra listo para ejecutar el proceso BPEL. Este proceso se ha implementado en el módulo denominado *bpl.c*.

Tanto para posibilitar este procesado secuencial de los documentos BPEL y hoja(s) WSDL, como para el funcionamiento del motor, se dispone de una estructura de tablas que almacenan toda la información necesaria y que se ha recogido en la figura 6-31.

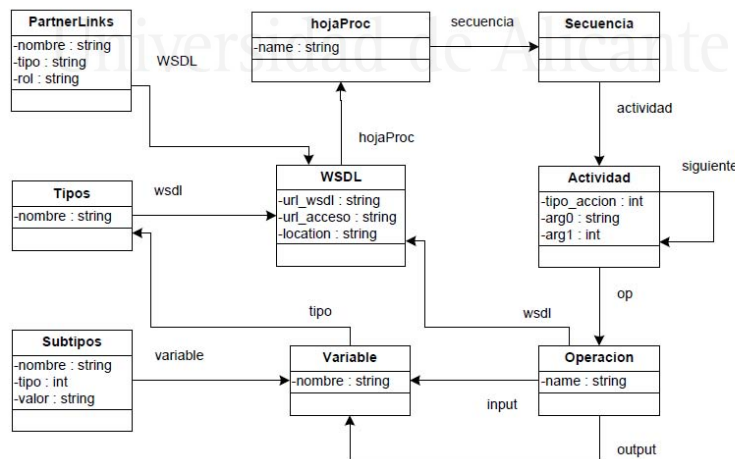


Figura 6-31. Tablas de almacenamiento Motor BPEL.

Por último, también hay que hacer notar que las hojas WSDL creadas dinámicamente por Eclipse y Visual Studio, funcionan correctamente, ya que la propuesta se ha basado en dicha especificación para crear los autómatas. Las páginas creadas con otras plataformas como NetBeans podrían no ser válidas. En la explicación de las hojas se ha dado por sentado la línea que la declara como un documento del tipo XML.

Esta sintaxis de los documentos WSDL es definida en la figura 6-32 mostrada a continuación.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<wsdl:definitions *>
  <wsdl:types>
    <schema *>
      <element name="---">
        <complexType>
          [Caso de void ha de estar la etiqueta de apertura y cierre
           del complexType por separado, no sirve complexType/]
        </complexType>
      </element>
      <element name="---">
        <complexType>
          <sequence>
            <element name="---" type="*:---"/>
          </sequence>
        </complexType>
      </element>
    </xs:schema>
  </wsdl:types>
  [Aquí empiezan los message de los que sólo nos interesa el location por lo
   que no los tendremos en cuenta]
  [A tener en cuenta que el nombre de los element del schema han de
   corresponderse con los respectivos mensajes que los usan y éstos a su vez
   con las operaciones basadas en esos mensajes. Lo mismo ocurre para los
   element-message de salida.]
  *
  [el location lo hallamos en la etiqueta service]
  *
  location="---"/>
</wsdl:port>
</wsdl:service>
</wsdl:definitions>
```

Figura 6-32. Sintaxis de las hojas WSDL.

Módulo de despliegue

En la propuesta se han desarrollado dos formas de desplegar una hoja BPEL para su ejecución en el dispositivo. Como se pretendía seguir la filosofía SOA, se ha implementado un servicio web para la recepción de las hojas BPEL que representan los procesos que

la maquinaria puede ejecutar. Por las limitaciones del dispositivo este método puede conllevar problemas en el caso de páginas BPEL de gran tamaño. Es por ello que alternativamente también se ha implementado un despliegue en el que se envía en el mensaje SOAP la URL donde se encuentra alojada la hoja BPEL. Aprovechando las funcionalidades del dispositivo XPort, se ha creado un proceso paralelo que periódicamente comprueba si se hay alguna URL pendiente de procesar. Una vez ha detectado una URL, se solicita y transfiere la hoja BPEL para su posterior procesamiento. Una vez desplegada la hoja BPEL, el sistema BPMS la publica en el registro UDDI, y será ofrecida como servicio.

Definidas las dos formas de desplegar hojas BPEL (*AddHojaBPELWS* y *AddHojaBPELURL*), en la figura 6-33 se puede observar cómo sería el contenido de los paquetes SOAP para invocar al servicio de despliegue.

```
<AddHojaBPELURL>          <AddHojaBPELURL>
  <proceso>                <proceso>
    URL de hoja BPEL      Código BPEL
  </proceso>              </proceso>
</AddHojaBPELURL>        </AddHojaBPELURL>
```

Figura 6-33. Invocación a servicios de despliegue de páginas BPEL.

Una vez invocado el servicio de despliegue, se procederá a su carga. Para ello se dispone de una serie de autómatas muy ligeros que procesarán la hoja conforme a su lectura. A razón de este procesamiento la sintaxis de los documentos debe ser tal y como se especificó en la figura 6-30, siguiendo el orden e introduciendo todos los atributos (aunque éstos sean después desechados). La sintaxis de las hojas no será comprobada y el XPort probablemente no funcione si ésta no es correcta. En la definición de la sintaxis utilizaremos los siguientes caracteres:

- '*' Cadena que se desecha
- '---' Cadena que se leerá y tratará
- '()' Notas y aclaraciones

Normalización de los Servicios

A partir de la infraestructura middleware descrita en el apartado anterior se han implementado los Servicios Web atómicos de producción definidos en la arquitectura IMaaS a partir de los cuales el ingeniero de procesos podrá definir los servicios orquestados de producción. En concreto se han implementado *los servicios de actividad* que encapsulan la gestión y control de los sensores y actuadores de la maquinaria. La implementación de los servicios de gestión y de medición no se ha realizado en este prototipo por la falta de recursos mencionados anteriormente. Estos serán implementados en un futuro como línea de continuación en el prototipo *IMaaS-MOXA* y sí han sido desarrollados para el prototipo *IMaaS-EEEBBox*.

Cada uno de los Servicios Web definidos en esta etapa son descritos por su correspondiente hoja WSDL que será publicada, haciéndolos visibles al resto de la organización, bien para su utilización en la composición de nuevos procesos o bien, para que puedan ser consumidos por otros elementos. Los Servicios de Producción son definidos como documentos BPEL y WSDL que serán interpretados por el motor WS-BPEL de la capa middleware.

Servicios de Actividad

Para realizar el prototipo se había utilizado un controlador del tipo ICPDAS I-7055D que a través del protocolo industrial DCOM permitía controlar y gestionar los elementos industriales. Se ha desarrollado un módulo en lenguaje C en el dispositivo XPort que permite el envío de comandos DCOM a través del puerto serie a los controladores y de esta forma ofrecer una interfaz para gestionar y controlar la maquinaria desde el XPort.

Se trata de un protocolo simple donde todas las acciones se realizarán mediante dos tipos de comandos, uno de lectura de

sensores y otro para actuar sobre los motores de las máquinas simples.

Un comando de lectura implementa un patrón petición respuesta con la estructura *@OX*, donde los dos primeros caracteres, *@O*, indica que es un comando de lectura y el carácter *X* se refiere a la dirección que identifica al dispositivo PLC. Una vez enviado un comando de este tipo a uno de los controladores se obtiene como respuesta una cadena de tipo hexadecimal con el valor de los sensores que gestiona el dispositivo.

El comando de escritura también implementa el patrón petición-respuesta pero con el formato de mensaje de petición *@OXXXX* donde el carácter *X* indica la dirección de identificación del PLC cuyos motores se quieren accionar y los caracteres *XXXX* serán sustituidos por una cadena hexadecimal correspondiente al estado de cada motor de dicho PLC.

Además de implementar el protocolo, el módulo se ha diseñado pensando en el aspecto de adaptabilidad del módulo permitiendo configurarlo y parametrizarlo para controlar cualquiera de las máquinas sin necesidad de reprogramarlo y el aspecto de seguridad de la maquinaria puesto que el prototipo no incluye control de finales de carrera u otras situaciones que pudieran dañar la maquinaria. Por ejemplo, si un torno llega al final de su recorrido no para automáticamente y sigue realizando su movimiento hasta romperse. Para resolver este problema el servicio deberá conocer que sensor indica la detención de un motor y enviar automáticamente el comando para detenerlo cuando el sensor se active. Esto plantea un problema triple ya que por un lado tenemos el problema de almacenar todos los sensores, el de refrescar con la suficiente rapidez estos y el de almacenar de alguna manera las reglas que dotan de seguridad al servicio.

Para implementar la propuesta y resolver los problemas de diseño se han planteado la estructura de tablas mostrada en la figura 6-34. Como se puede ver en la figura, se ha realizado una

identificación directa entre el mundo real y las tablas, de manera que se almacenarán los PLCs y, los sensores y motores de dicho PLC. Por otro lado, también se tiene una tabla que almacena las reglas de seguridad, relacionando un motor y un sensor, cuando el motor está realizando un determinado movimiento. Utilizando estas entidades el módulo es capaz de generar dinámicamente los comandos que necesita para comunicarse con los PLCs, refrescar el estado de todos y cada uno de los sensores y además establecer reglas de seguridad para detener los motores en caso de peligro. Para refrescar el estado de los sensores se han realizado varias pruebas y los mejores resultados se han obtenido para tiempos entorno a los 25ms.

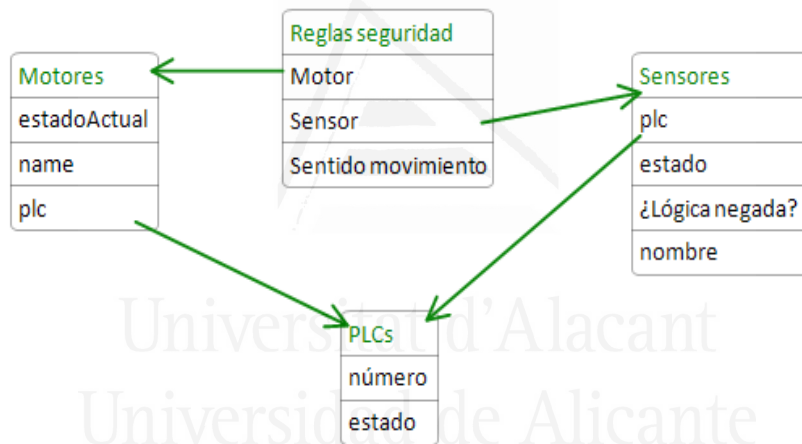


Figura 6-34. Tablas utilizadas en el funcionamiento del servicio de la gestión de la maquinaria industrial.

Para cargar toda la información en estas tablas se utiliza un archivo de configuración que tiene el aspecto que muestra la figura 6-35. En ella se puede ver cuatro partes en el archivo, una para cada tabla.

```

//PLCs (numero,bits dedicados a los motores, bits
dedicados a los sensores)
1#0#16
2#16#0

//Motores (Nombre,plc,bit dimension positiva,bit
dimension negativa) (El bit 16, estará fuera de rango e
indicará que el motor no se puede mover en esa dimensión)
M_CB1#2#0#1
M_CB2#2#2#3
M_TTCB#2#4#5
M_TTC#2#6#7
M_MTZ#2#8#9
M_MTD#2#10#16

//Sensores (Nombre,plc,bit,Logica negada o positiva[N|P])
S_CB1_1#1#0#P
S_CB1_2#1#1#P
S_CB2_1#1#2#P
S_CB2_2#1#3#P
S_TTCP#1#4#N
S_TTCN#1#5#N
S_TTCB#1#6#P
S_MTZP#1#7#N
S_MTZN#1#8#N

//Seguridad (Nombre motor, nombre sensor, estado
motor[N|P] (dirección del movimiento del motor)) -->
Cuando el motor este en el estado indicado y el sensor se
active, entonces el motor se parará.
M_TTC#S_TTCP#P
M_TTC#S_TTCN#N
M_MTZ#S_MTZP#P
M_MTZ#S_MTZN#N
//FIN

```

Figura 6-35. Tablas utilizadas en el funcionamiento del servicio de la gestión de la maquinaria industrial.

Gracias a este almacenamiento de tablas, el módulo podrá establecer reglas de seguridad dinámicas, de manera que se podrán realizar movimientos más complejos utilizando una sola invocación al servicio. Un ejemplo de estos movimientos sería “mover cinta transportadora a la izquierda hasta que se active sensor 7”. Para hacer esto se creará primero la regla de seguridad enlazando el motor de la cinta transportadora 1 y el sensor 7, y después se lanzará el comando para activar el motor en dicha dirección.

Toda la funcionalidad del módulo descrita anteriormente se encapsula en tres archivos: *imaascb.c*, *imaascnf.c* y *imaasdev.c*.

A partir de este diseño se ha definido la interfaz de Servicio Web siguiendo un patrón *service wrapper* que expone la funcionalidad descrita anteriormente. Se ha definido una interfaz genérica válida para cualquier máquina que se desee gestionar aunque con pequeñas variaciones sobre las WSDL definidas en el capítulo anterior. En este caso, debido a las limitaciones de recursos se ha definido un único Servicio Web, tanto para gestionar sensores como actuadores, en lugar de definirlos por separado, *servicio de adquisición y servicio de ejecución*.

Como resultado en la figura 6-36 se muestra el prototipo de la arquitectura IMaaS que proporciona la implementación basada en el dispositivo XPort.

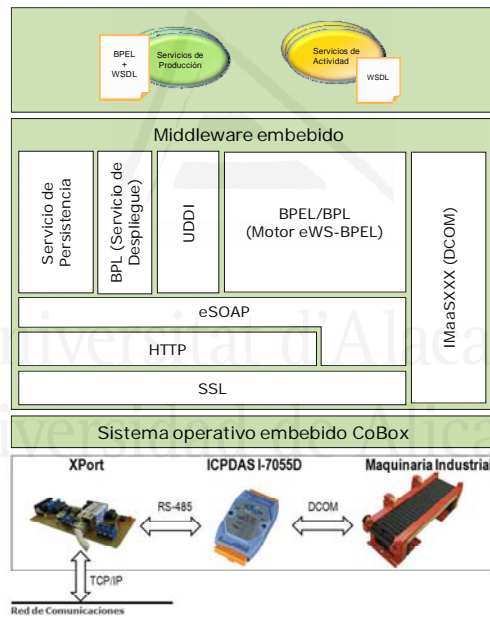


Figura 6-36. Arquitectura prototipo IMaaS-XPort.

Prototipo IMaaS-MOXA

El MOXA UC-7110-LX es un dispositivo de tamaño reducido, con bajo consumo y que incorpora una interfaz Ethernet y otra serie tipo RS232. Se trata de un dispositivo con un coste económico,

aunque considerablemente, más elevado que el XPort pero con menores limitaciones de recursos.

A diferencia que el dispositivo XPort, incluía un sistema operativo propietario, este dispositivo incorpora un sistema operativo μ CLinux con la versión 2.4.22 que facilita enormemente el desarrollo de las diferentes aplicaciones mediante la utilización de lenguajes y entornos conocidos como el compilador GCC. Al mismo tiempo pueden utilizarse aplicaciones y librerías de terceros, generalmente de código abierto para implementar algunos de los servicios de soporte definidos en la arquitectura IMaaS.

En la tabla 6-3 se detallan el resto de características técnicas del dispositivo.

Tabla 6-3. Características dispositivo MOXA.

Característica	Descripción
CPU, Memoria	ARM9-based 32-bit RISC CPU, 166 Mhz, 16 MB de RAM (12 MB of user programmable space), 8 MB (de Flash 4 MB of user programmable space)
Kernel	mCLinux Kernel 2.4.22
Interfaz Serial	RS-232/422/485 Nivel de consumo de 12V Nivel de entrada 12-48V Tasa de Transferencia (50 bps a 921,6 kbps)
Formato Serial	5, 6, 7 ó 8 bits de datos, 1-2 bits de parada, Paridad: Par, Impar, ninguna, space, mark
Control de Flujo	XON/XOFF, CTS/RTS
Interfaz de Red	Auto-sensing 10/100 Mbps x 2
Protocolos Soportados	ARP, ICMP, IPV4, TCP, UDP, FTP, Telnet, NTP, SNMP V1, HTTP, PPP, CHAP, PAP, NFS
Administración	Servidor web interno, SNMP, Serial, Telnet
Servidor Web	Apache Web Server Daemon
Peso	190 gramos



MOXA

En la figura 6-37 se muestran marcados de color naranja los servicios y módulos de la arquitectura propuesta que implementa el prototipo IMaaS-MOXA.

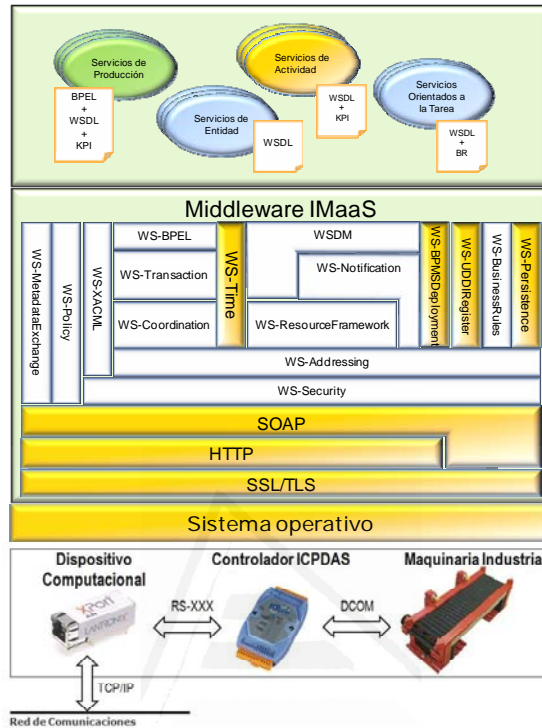


Figura 6-37. Relación arquitectura IaaS con el prototipo IaaS-MOXA.

Normalización Hardware

Para integrar el dispositivo con las distintas máquinas industriales ha sido necesario la utilización de otro dispositivos de la marca ICPDAS, en concreto el modelo I-7520. Se trata de un dispositivo que permite la conversión del estándar de comunicación serie RS232 al estándar RS485.

En la figura 6-38 se muestra la relación entre los diferentes componentes utilizados en este prototipo.

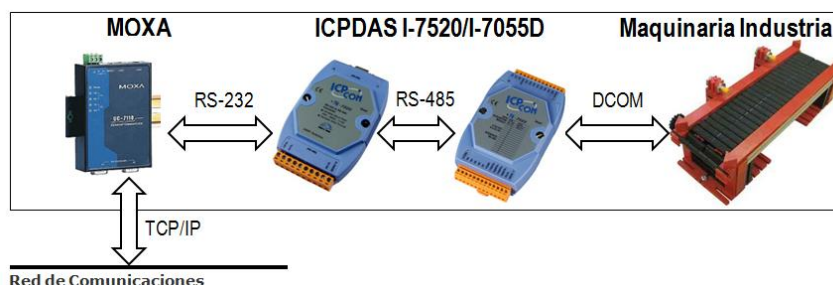


Figura 6-38. Normalización Hardware prototipo IMAaS-MOXA.

Normalización Middleware

Para la implementación del contenedor de la maquinaria industrial basada en el dispositivo MOXA se ha utilizado aplicaciones de terceros de código abierto.

El dispositivo MOXA incluye el servidor Web Apache Web Server sobre el cual se sustentará el resto de los servicios de la arquitectura IMAaS-MOXA. Para la implementación del estándar SOAP se ha utilizado la librería de código abierto *gsoap v2.7* (gSOAP, 2010).

La librería gSOAP es una alternativa de código abierto escrita en el lenguaje C++ que proporciona un *framework* para el desarrollo de Servicios Web de forma sencilla abstrayendo al desarrollador de aquellos aspectos relacionados con la comunicación y que permite centrarse en la programación de la funcionalidad que quiere conseguir.

El *framework* proporciona un compilador (*soapcpp2*) que permite, a partir de un fichero cabecera que contiene los prototipos de las funciones del Servicio Web generar los archivos *stub* y *skeleton* necesarios además de la WSDL correspondiente a los servicios ofrecidos. El resultado final es un fichero binario que manejará las peticiones SOAP que llegan desde la red y responderá a ellas con un nuevo mensaje SOAP de respuesta.

Actualmente, no se encuentra disponible ningún motor BPEL escrito en lenguaje C o C++. Por esta razón, actualmente se está realizando la migración del motor BPEL implementado para el prototipo XPort pero introduciendo ligeras mejoras por el aumento de recursos en el dispositivo. Además, se está realizando la migración del resto de módulos implementados anteriormente.

Uno de los nuevos servicios implementados ha sido el de persistencia. Para ello se ha creado un Servicio Web con un patrón *service wrapper* que expone el acceso al sistema de gestión de base de datos SQLite v3.6.

Se trata de un sistema de código abierto escrito en C++ diseñado específicamente para dispositivos embebidos. Al contrario que otros motores de base de datos, SQLite no necesita tener un proceso servidor. SQLite lee y escribe directamente sobre ficheros ordinarios. Es decir, una base de datos completa con sus múltiples tablas, índices, triggers y vistas están contenidas en un solo fichero. El formato de dicho fichero es multiplataforma, con lo cual puede ser perfectamente utilizado en arquitecturas de 32-bit y 64-bit o entre arquitecturas big-endian y Little-endian indistintamente.

SQLite proporciona una librería compacta. Con todas sus características activadas, su tamaño no supera los 300KiB dependiendo del compilador y las opciones de optimización. SQLite también puede ser ejecutado para que emplee mínimo espacio en la pila (16KiB) o en el heap (100KiB). Esto hace que SQLite sea una perfecta opción para ser empleada en dispositivos con restricciones de memoria.

El resto de servicios de soporte definidos en la arquitectura IMaaS han sido externalizados e implantados en el sistema BPMS central utilizando para ello la misma tecnología que será descrita en el último prototipo.

Normalización de Servicios

En este sentido, el prototipo diseñado con el dispositivo MOXA únicamente ofrecerá los servicios de producción más básicos de la arquitectura IMaaS, *los servicios de actividad*, teniendo que ser externalizadas todos aquellos servicios orquestados de la arquitectura IMaaS, los servicios de proceso y los de monitorización.

Se ha hecho una migración del módulo que implementa el acceso a los servicios de actividad pero introduciendo la librería DCOM de gestión de los dispositivos que provee ICPDAS para Linux escrita en el lenguaje C, formada por la librería *DCOM_Linux*. Mediante la herramienta de generación de servicios *soapcpp2* se han creado los Servicios Web de adquisición y ejecución como *wrapper services*.

La arquitectura resultante del prototipo IMaaS-MOXA se muestra en la figura 6-39.

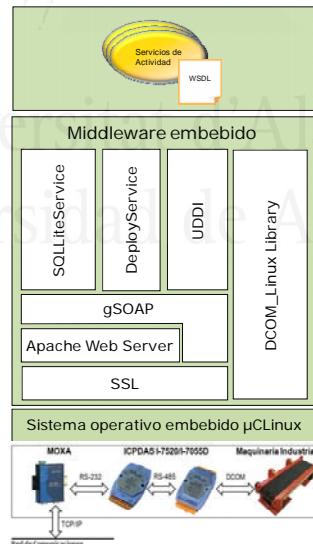
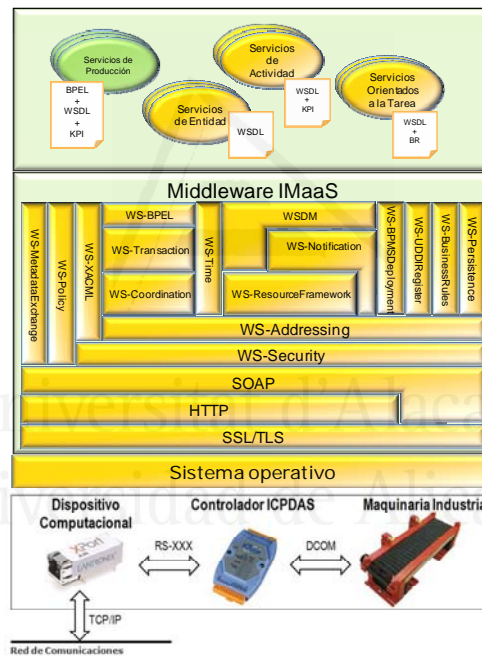


Figura 6-39. Arquitectura del prototipo IMaaS-MOXA.

Prototipo IMaaS-EEEBBox

El *Asus EEE Box* es un PC de propósito general con un procesador Intel Atom y una capacidad de memoria de almacenamiento de 80 Gb, posee una interfaz de comunicación Ethernet y varios puertos USB e incluye Windows XP como sistema operativo. Sin embargo, tienen unas características especiales que le diferencia de otros computadores personales como su tamaño reducido y un coste similar a los dispositivos embebidos, en este caso al MOXA, que hacen que se una



propuesta interesante para implementar la arquitectura IMaaS.

Figura 6-40. Relación arquitectura IMaaS con el prototipo IMaaS-MOXA.

A diferencia de los casos anteriores, el no contar con restricciones de recursos, permite que esta última propuesta baraje un mayor número de posibilidades para implementar la arquitectura IMaaS utilizando aplicaciones de código abierto de terceros. En este caso la pila de protocolos de la arquitectura IMaaS ha sido llevada a

cabo casi en su totalidad. Aquellas especificaciones que no han sido incluidas no afectan para la validación de la propuesta (figura 6-40).

Normalización Hardware

El proceso llevado a cabo para obtener la maquinaria industrial computacional con el dispositivo *Asus EEE box* ha sido similar al del MOXA. Al no disponer de puerto serie, se ha tenido que utilizar el dispositivo ICPDA modelo I-7561 que implementa la conversión de una interfaz USB a una RS485. A la interfaz USB se ha conectado el dispositivo *EEE Box* obteniendo el resultado mostrado en la figura 6-41.

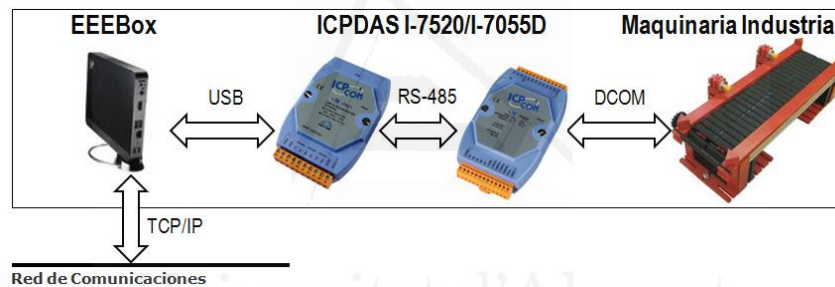


Figura 6-41. Normalización Hardware prototipo IMaaS-EEEBox.

Normalización Middleware

Como en los casos anteriores, el primer paso ha sido seleccionar un servidor Web, en este caso Apache Web Server versión 2.0 o Apache HTTP Server. Se trata de un servidor HTTP de código abierto el cual es apoyado por una de las comunidades más importantes en este ámbito. El servidor Apache es el más popular en la actualidad y ha demostrado ser uno de los que mejor rendimiento ofrece en entornos de producción superando incluso a los Servidores Web propietarios. Posee una arquitectura modular que facilita la incorporación de nuevas funcionalidades.

Para implementar el estándar SOAP se ha elegido la solución Apache Axis2 (Axis2, 2010) en su versión escrita en lenguaje Java que implementa la versión 1.2 del estándar. Esta versión incluye un mayor número de protocolos de la pila WS-* IMaaS que su distribución en el lenguaje C lo que ha facilitado el proceso de implementación del prototipo.

Apache Axis2 está diseñado con una arquitectura flexible y modular que le permite incorporar nuevas funcionalidades de los estándares WS-*. En concreto, por defecto incluye las siguientes especificaciones necesarias para la implementación de la arquitectura IMaaS:

- WS-Addressing: Apache Axis 2 incorpora su implementación como parte de su núcleo.
- WS-Security: Es implementado a través del módulo de Axis Apache Rampart (Rampart, 2010) como módulo de seguridad. Se trata de una versión de Apache WSS4J (WSS4J, 2010) para Axis 2 que implementa la versión 1.1 del estándar.
- WS-ReliableMessaging: Axis2 implementa el estándar a través del módulo Apache Sandesha2 (Sandesha, 2010).
- WS-Transaction: Axis2 implementa los estándares WS-Coordination, WS-AtomicTransaction y WS-BusinessActivity a través del módulo Apache Kandula2 (Kandula, 2010).

Para que Axis2 pueda ser ejecutado a través del Servidor Web de Apache es necesario integrar en este último un contenedor Web que permita la ejecución de Servlets. En este caso se ha utilizado Apache Tomcat v5.5 y se ha integrado con Apache Web Server mediante el módulo *mod_jk*.

A partir de este momento queda abordar tres aspectos importantes para implementar la propuesta, la orquestación de

los servicios mediante el estándar WS-BPEL, la notificación de eventos mediante WS-Notification y la gestión de recursos y Servicios Web mediante WSDM.

Para implementar la orquestación de servicios mediante WS-BPEL se ha utilizado el motor BPEL Apache ODE. Apache ODE implementa la especificación WS-BPEL 2.0. ODE ofrece una capa de comunicación basada en Apache Axis2 que hace transparente su integración. Además, ofrece un servicio de despliegue en caliente para instalar los nuevos procesos.

Por último, Apache MUSE (MUSE, 2010) provee una solución que integra un conjunto de implementaciones de la pila WS-* definida para el modelo IMaaS. En concreto, implementa los estándares WS-ResourceFramework 1.2, WS-Notification 1.3 y WSDM 1.1. Apache MUSE puede ser desplegado en diversas propuestas que implementan el estándar SOAP entre las que se encuentra Apache Axis2.

Para implementar las propuestas de publicación de las hojas BPEL y WSDL mediante el estándar UDDI se ha utilizado las mismas recomendaciones que en los dos prototipos anteriores. En este caso el servicio ha sido implementado en lenguaje Java recogido en el módulo *ws-uddiregister* que ha utilizado para facilitar el proceso la librería UDDI4J (UDDI4J, 2010). Esta librería ofrece un API de las funcionalidades de publicación y localización de servicios definidas en el estándar UDDI.

El servicio de despliegue se ha creado como un *service wrapper* del sistema de despliegue del motor BPEL ODE, añadiendo la funcionalidad para desplegar las reglas de negocio y los KPI.

Los servicios de reglas de negocio, el servicio de tiempo y el de persistencia también se han desarrollado con el patrón *services wrapper* pero los sistemas heredados que encapsulan tienen diferentes niveles de complejidad.

El más sencillo es el servicio de tiempo donde simplemente se ha generado un servicio a partir de las librerías de tiempo y fecha proporcionadas por el API del J2SE.

Para implementar el servicio de persistencia se ha utilizado el motor Hibernate sobre MySQL v5.0, uno de los SGBD de código abierto más utilizados en entornos de producción en la actualidad. Hibernate (Hibernate, 2010) es un motor de persistencia de código abierto ligero y de alto rendimiento que permite la correlación entre objetos y tablas relacionales. Cada servicio de entidad se implementa como un Servicio Web con el patrón *service wrapper* que expone el acceso a los objetos relacionales. Para la implementación del prototipo se ha configurado el contenedor Apache Web Tomcat para trabajar con Hibernate.

Por último, para llevar a cabo el servicio de reglas de negocio del prototipo se ha utilizado la propuesta realizada en (Geminiuc, 2010) que describe un patrón de buenas prácticas para exponer la funcionalidad de un motor de reglas a través de la tecnología de Servicios Web. Para ello, se ha utilizado para implementar el motor de reglas de negocio la distribución JBoss Rules y a través del Servicio Web *WS-BusinessRules* diseñado siguiendo un patrón *service wrapper*, expone la funcionalidad de acceso al gestor de reglas. Para ello se han seguido los siguientes pasos:

1. Crear un conjunto de reglas para los servicios de negocio orientados a la tarea.
2. Exponer el acceso a la evaluación y ejecución de reglas a través de un *wrapper service*.
3. Invocar los conjuntos de reglas desde los servicios de negocio orientado a la tarea.

Además de exponer el acceso a las funcionalidades del motor de reglas, el servicio es responsable de obtener los datos para

evaluar la regla en formato XML y transformarlo en objetos Java para ejecutar las reglas mediante el API de JAXB.

Los ingenieros de procesos son los responsables de la definición de las reglas para ejecutar cada uno de los servicios de negocio orientados a la tarea como el servicio de medición, el de captación, el de diagnóstico y decisión. Estos deben definir cómo calcular los KPI, qué KPI debe medirse para controlar qué proceso, los rangos de valores de los KPI que definan su correcto o incorrecto funcionamiento y, por último, qué decisión debe tomar el sistema, a nivel local y global, a partir del diagnóstico.

Estas reglas pueden ser definidas a través del plug-in de eclipse del sistema BPMS que incorpora la distribución de JBoss Rules 4.0.

Normalización de Servicios

Sobre la propuesta definida anteriormente se deben sustentar los servicios de producción que expongan la funcionalidad de la maquinaria industrial.

Servicios de Actividad

Al igual que en la propuesta del prototipo IMaaS-MOXA para implementar la funcionalidad de los servicios de actividad que gestionan la maquinaria industrial se han utilizado las librerías proporcionada por ICPDAS. Mediante la implementación de un patrón *service wrapper* como se indicaba en el modelo se ha expuesto al resto de los servicios del prototipo.

Servicios de Medición

Para el prototipo IMaaS-EEEBox se han creado dos Servicios Web que implementan los servicios de medida y KPI descritos en el capítulo anterior utilizando Apache Axis2.

Servicios de Gestión

Igual que en el caso anterior se han creado servicios Web que implementan los servicios de captación, diagnóstico y decisión definidos en el capítulo anterior mediante las herramientas provistas por Apache Axis2.

Como resultado del proceso, en la figura 6-42 se muestra la arquitectura del prototipo IMaaS-EEEBox.

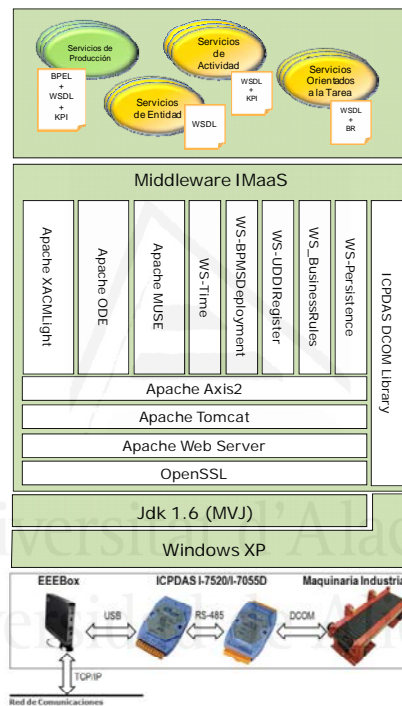


Figura 6-42. Arquitectura del prototipo IMaaS-EEEBox.

Casos de Uso

Como se ha comentado anteriormente, el objetivo de los experimentos es validar las cualidades de la propuesta, recogidas como resultado final en la arquitectura IMaaS, en cumplimiento de la hipótesis de partida y los objetivos asociados. Para ello, es

necesario que los experimentos planteados sean definidos a partir de dicha hipótesis y objetivos planteados.

Las pruebas deben reflejar principalmente la capacidad de integración de la maquinaria industrial con el resto de procesos de la organización y la flexibilidad de la arquitectura para adaptarse de forma ágil y dinámica a los cambios producidos por el entorno de la organización. Debido a la complejidad del modelo y el escenario, para demostrar que el modelo cumple estos requerimientos se han definido una serie de aspectos del modelo que deben ser validados en cada uno de los experimentos:

- Descubrimiento de procesos y actividades de la maquinaria industrial.
- Composición, despliegue y ejecución de procesos de la maquinaria industrial.
- Gestión de los procesos de la maquinaria industrial.

Para llevar a cabo los experimentos, se ha utilizado el prototipo de fábrica industrial mostrado en la figura 6-3 compuesto por tres módulos: el almacén inteligente, la línea de fabricación flexible y la celda de fabricación. Además, se han realizado las pruebas utilizando para ello los tres prototipos de arquitectura IMaaS implementados para simular tres proveedores de maquinaria distintos y comprobar la capacidad de integración.

Capacidad de Integración del Modelo IMaaS

El objetivo del primer experimento se centra en demostrar la capacidad de integración de los procesos de fabricación con el resto de procesos de la organización. Una de las características del modelo que inciden directamente en la validación de este requerimiento es la capacidad de descubrimiento de los procesos y actividades de la maquinaria industrial.

Definición de los Experimentos

Para ello, el experimento contempla las dos etapas del proceso de descubrimiento de la arquitectura IMaaS: la publicación de los procesos y actividades de la maquinaria industrial en el registro UDDI y la localización y descubrimiento, por parte del sistema BPMS, de los procesos y actividades registrados en primera etapa. El diagrama de actividad mostrado en la figura 6-43 describe el experimento 1.

Primero se conectan a la red los tres módulos que componen la maqueta de la fábrica industrial a través de la interfaz *ethernet* que proporciona el dispositivo computacional del prototipo IMaaS. El servicio de publicación se encarga de registrar los servicios atómicos y orquestados que representan a los procesos y a las actividades en el servidor UDDI. En segundo lugar, se debe realizar una búsqueda en el registro UDDI para comprobar que los procesos y actividades han sido registrados correctamente. Posteriormente, se debe comprobar que el sistema BPMS a través de su módulo de descubrimiento y contempla los nuevos procesos y actividades de la maquinaria industrial. Como último paso, se obtendrán el tiempo de registro de los procesos en el servidor UDDI y el tiempo de localización de los procesos por parte del sistema BPMS.

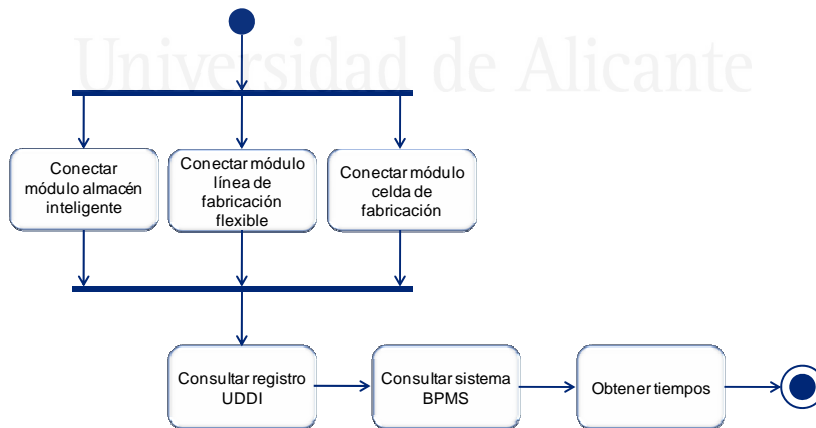


Figura 6-43. Diagrama de actividad del experimento para la validación de la capacidad de integración del modelo IMaaS.

Resultados y Conclusiones

El experimento llevado a cabo a dado como resultado, en un primer lugar, la correcta publicación de los documentos WSDL y BPEL que describen los Servicios Web atómicos y orquestados, que representan a su vez los procesos y actividades de la maquinaria industrial.

En el experimento se ha calculado el tiempo global desde la conexión de los módulos hasta que se ha registrado la información de los procesos obteniendo un tiempo menor a 30 segundos para el proceso.

Posteriormente se ha comprobado que los procesos han sido localizados por el sistema y se encuentran disponibles para ser utilizados para la composición de nuevos procesos en el lenguaje BPEL. En este caso también se ha comprobado que el tiempo que tarda el sistema BPMS en localizar dichos servicios es prácticamente despreciable en este tipo de entorno.

Este experimento ha permitido demostrar la capacidad de integración de los procesos de fabricación de los módulos conectados en los sistemas de gestión de procesos e-Business, en este caso en el sistema BPMS. La posibilidad de que el sistema pueda gestionar y utilizar los procesos de fabricación es prácticamente inmediata.

Capacidad de Adaptación del Modelo IMaaS

El objetivo del segundo experimento se centra, principalmente, en demostrar el segundo requerimiento derivado de la hipótesis, la flexibilidad de la arquitectura IMaaS para adaptarse de forma ágil y dinámica a los cambios que afectan a los procesos de la organización, y en concreto los de la maquinaria industrial. No obstante, también refuerza la capacidad de integración del modelo propuesto.

Definición del los Experimentos

Para ello, el experimento se centra en tres aspectos fundamentales que provee el modelo al estar basado en una arquitectura con el trinomio BPM-SOA-WS: la composición de procesos, el despliegue de procesos y la ejecución de procesos.

El experimento 2 es descrito mediante el diagrama de secuencia mostrado en la figura 6-44. A partir del patrón descrito se han creado dos instancias del experimento. La primera orientada a la realización del experimento pero sobre una única máquina industrial, y la segunda, orientada a la integración de procesos de varias máquinas y sistemas de gestión de la organización.

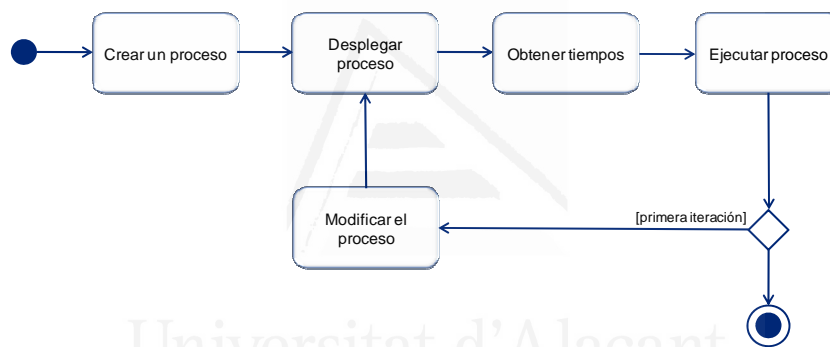


Figura 6-44. Diagrama de actividad del experimento para la validación de la capacidad de adaptación del modelo IMaaS.

Instancia 1

Esta primera instancia tiene como objetivo validar la flexibilidad el modelo en la composición de procesos y en menor medida su integración. Para ello llevar a cabo esta instancia del experimento se ha utilizado la celda de fabricación gestionada por el prototipo IMaaS-EEEEBox. El primer paso consiste en crear un proceso (servicio de producción) de la celda de fabricación a partir de las actividades y subprocessos que han sido publicados en el registro UDDI. El segundo paso consiste en el despliegue del proceso en el dispositivo que controla el módulo celda de fabricación, Como tercer paso se deben tomar los tiempos que nos permitirán

comprobar la rapidez con la que el modelo ha permitido realizar los pasos anteriores. Una vez desplegado el proceso se debe consumir el proceso para comprobar el correcto funcionamiento del proceso modelado. Posteriormente, se realizará una modificación del proceso y siguiendo los mismos pasos de despliegue, cálculo de tiempo y ejecución se podrá validar los aspectos de agilidad y dinamismo de la propuesta.

Instancia 2

La segunda instancia varía ligeramente el primer paso con respecto a la instancia anterior. En este caso, la creación del proceso se realizará a partir de los procesos de producción de los módulos línea de fabricación flexible, gestionado por el prototipo IMaaS-XPort, y la celda de fabricación, gestionada por el prototipo IMaaS-EEEBox, además de añadir un proceso de producción de un sistema para la ejecución de la fabricación (MES) simulado mediante una aplicación implementada en el lenguaje C# de .NET. Esta segunda instancia tiene como objetivo validar la capacidad de integración entre los procesos de negocio y de fabricación de la propuesta además de la capacidad de respuesta del modelo ante los cambios que será demostrada mediante la captura de tiempos del proceso.

Resultados y Conclusiones

Como resultado del experimento en la primera instancia se ha logrado el modelado, despliegue y ejecución de un proceso de fabricación con las mismas técnicas utilizadas en la gestión de los procesos de negocio sin tener en cuenta la naturaleza de los procesos ni de la maquinaria donde se deben ejecutar. A continuación, se ha comprobado la facilidad con la que se ha modificado el proceso anterior y se ha desplegado con un mínimo coste temporal, ejecutándose posteriormente de forma correcta sobre la celda de fabricación. Es importante resaltar que el tiempo obtenido desde en el despliegue del proceso es mínimo trasladando la complejidad del proceso al ámbito del modelado a

diferencia de lo que sucedía en el escenario sin la propuesta IMaaS.

De hecho, en la segunda instancia, se ha conformado otro proceso que se compone de tres subprocesos de distinta naturaleza, dos procesos de fabricación y un proceso de negocio. La integración se ha realizado sin percibir diferencia alguna entre los componentes y realizando un despliegue del proceso prácticamente inmediato. Posteriormente se ha ejecutado el proceso comprobando su correcto funcionamiento y adecuación al diseño realizado.

Esto demuestra que con la propuesta IMaaS se realiza la gestión de procesos independientemente de su naturaleza, bien sean de fabricación o de negocio lo que implica que desde el punto de vista conceptual y tecnológico no existen diferencias. Además, se ha demostrado la flexibilidad que ofrece el modelo ante cambios realizados en los procesos que debe llevar a cabo la maquinaria industrial.

Capacidad de Gestión Ágil del Modelo

El tercer experimento tiene como objetivo validar el enfoque BPM de la propuesta demostrando su capacidad de reacción ágil y dinámica ante situaciones inesperadas donde es necesario una rápida reconfiguración de los procesos. El experimento va a validar por un lado la capacidad autónoma de la propuesta para resolver el problema y la capacidad de integración y colaboración con el sistema BPMS central para emitir el aviso.

Definición de los Experimentos

El experimento es descrito mediante el correspondiente diagrama de actividad mostrado en la figura 6-45.

El primer paso del experimento consiste en la ejecución de un proceso de producción del módulo almacén inteligente que lleva asociado un conjunto de indicadores claves de proceso para medir su éxito. El segundo paso consiste en provocar un desvío del

proceso con respecto al objetivo estratégico definido para el almacén. El sistema de gestión de la maquinaria debe detectar el error y realizar dos acciones: la primera consistirá en realizar una acción correctiva interna previamente definida por el ingeniero de procesos, y la segunda, consistirá en emitir una notificación de alerta al sistema BPMS. En este sentido, el tercer paso del experimento consiste en comprobar estas acciones que ha realizado la maquinaria bajo el enfoque IMaaS de forma autónoma. Por último, se deben obtener los tiempos de realización del experimento tomados a partir del fallo para comprobar la validez del modelo ante cambios inesperados.

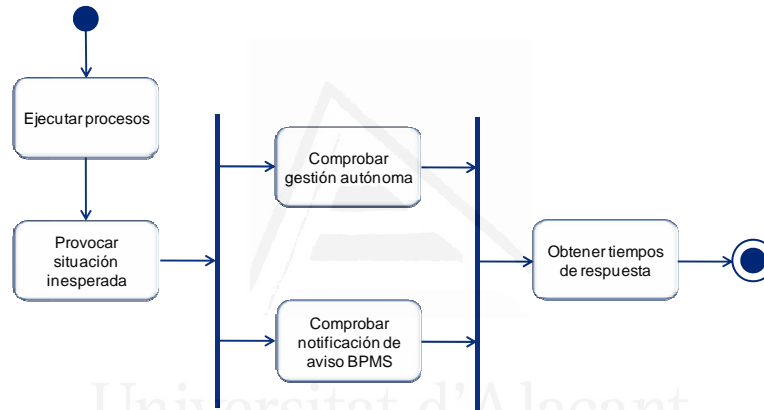


Figura 6-45. Diagrama de actividad del experimento para la validación de la capacidad de gestión ágil del modelo IMaaS.

Resultados y Conclusiones

Tras la realización del tercer experimento se ha obtenido una respuesta inmediata al error provocado que ha concluido en una respuesta correctiva del proceso ejecutado y una notificación de alarma al sistema BPMS.

Del resultado obtenido se deriva la agilidad con la que la arquitectura IMaaS propuesta adapta los procesos que se ejecutan sobre ella al cambio de forma autónoma y dinámica.

Capítulo 7

Conclusiones

Los resultados generales obtenidos han demostrado, por un lado, la transparencia a la hora de gestionar los procesos mediante técnicas del e-Business —desde el modelado hasta su ejecución y monitorización— independientemente de su naturaleza, fabricación o negocio; por otro lado, se ha demostrado la flexibilidad de la arquitectura que permite una rápida adaptación de los procesos alineándolos con los objetivos estratégico sin necesidad de modificaciones tecnológicas.

Todos estos aspectos sirven para confirmar la validez de la propuesta de integración de la maquinaria industrial con el enfoque IMaaS, demostrando que se han eliminado las barreras existentes en la gestión de los procesos de negocio y fabricación y se han eliminado las restricciones tecnológicas y conceptuales que impedían ofrecer un SGP integral conforme a los requerimientos de los nuevos modelos de negocio y producción.

Principales Aportaciones

La presente investigación se ha centrado en los sistemas de gestión de procesos de negocio e-Business en las organizaciones manufactureras conforme a los requerimientos de los nuevos

modelos de negocio y producción. En concreto, se ha centrado en la integración de forma transparente de la maquinaria industrial en los sistemas de gestión de procesos basados en los nuevos modelos de negocio. En este sentido, las aportaciones más relevantes que se han realizado son descritas de forma sintetizada a continuación:

- La formalización de una metodología general que describe y guía de forma sistemática la integración de forma transparente de la maquinaria industrial dentro de los sistemas de gestión ágil de procesos de negocio. En concreto, la metodología ha sido aplicada a la maquinaria industrial y a los sistemas de gestión ágiles como BPMS, pero puede ser aplicada mediante diferentes instanciaciones a problemas similares en otros dominios que incluyan distintos dispositivos y sistemas de gestión. Cada instancia de la metodología dependerá del problema al que se aplique, del momento en el que se aplique y de los paradigmas y tecnologías más adecuadas para resolverlo.
- Un método de normalización conceptual de la maquinaria industrial permite de forma sistemática eliminar las restricciones conceptuales entre los procesos de negocio y los procesos de fabricación. Pero, como en el caso anterior, puede instanciarse para eliminar las restricciones conceptuales en otros dominios aplicando adecuadamente la metodología general.
- Modelo del mapa de procesos de negocio de la maquinaria industrial a partir de la correlación entre los procesos de negocio y los de fabricación, que permite representar un proceso de fabricación en el dominio del negocio. Este modelo se ha considerado de interés debido a que permitirá, independientemente de la tecnología, que los ingenieros de procesos puedan modelar el mapa de la organización incluyendo los procesos de fabricación y, de esta forma, comprender mejor su funcionamiento y poder mejorar el funcionamiento de la organización. Además, se

puede utilizar la propuesta para otros paradigmas de gestión basados en procesos.

- Un modelo que permite mostrar la maquinaria industrial como un sistema BPM desde el punto de vista conceptual, independiente de la tecnología. Este modelo incluye la funcionalidad necesaria para la gestión de los procesos de la maquinaria industrial de forma autónoma e independiente que podría ser soportado por otras tecnologías más adecuadas en un futuro.
- Un método de normalización tecnológica de la maquinaria industrial que permite de forma sistemática eliminar las restricciones tecnológicas existentes entre los procesos de negocio y los procesos de fabricación. Como se ha comentado anteriormente, esta metodología podría aplicarse a otros elementos de entrada y estar dirigida por otros controladores y suministradores e, incluso podría aplicarse a otro sistema de gestión de procesos.
- Un modelo de servicios de la maquinaria industrial que expone su funcionalidad bajo el paradigma SOA pero independientemente de las tecnologías utilizadas para su implementación. En un futuro podría ser utilizada para crear una arquitectura con una tecnología distinta a la de los Servicios Web de segunda generación.
- La segunda consiste en la arquitectura IMaaS como propuesta realista para validar los modelos expuestos a lo largo del presente trabajo. Como se visión en el estado del arte, se trata de otra propuesta de pila de especificaciones de WS-* para un perfil de dispositivos de fabricación.
- Implementación de un motor SOAP específico para dispositivos embebidos con una limitación de recursos.
- Implementación de un motor de orquestación WS-BPEL también para dispositivos embebidos que posean recursos limitados.

- Implementación de la arquitectura IMaaS completa a partir de la integración de soluciones de código abierto de terceros.
- De forma transversal, se ha logrado una metodología general para la creación sistemática de sistemas de gestión empresarial estratégicos. La importancia de esta propuesta radica en la apertura de nuevas líneas de investigación que continúen la propuesta de este trabajo en el campo de la gestión empresarial.

Problemas Abiertos

Debido al ambicioso contexto en el que se enmarca esta investigación, el carácter de modelo con el que ha sido abordada y a la gran cantidad de disciplinas y tecnologías involucradas en la misma, una vez cubiertos los objetivos trazados y validada la hipótesis de partida se observan nuevos problemas, con componente tanto de investigación básica como aplicada, que no se han podido cerrar en este trabajo y que están siendo tratados en la actualidad o serán abordados en un futuro próximo. A continuación se enumeran los más importantes dentro de las líneas de interés del grupo:

- Realizar diferentes instancias del modelo que afectan al servicio de diagnóstico mediante normativas o técnicas preventivas, predictivas y correctivas de gestión de procesos.
- Realizar diferentes instancias a partir de los diferentes estándares de calidad basados en procesos como las normas ISO, 6-Sigma o EFQM.
- Crear un escenario donde se integren con la propuesta IMaaS sistemas de gestión empresarial como ERP, MES o CRM.
- Incorporar a la arquitectura IMaaS que hemos propuesto, nuevas especificaciones WS-* como MTOM para el

intercambio de información binaria, WS-Discovery para implementar la arquitectura SOA *P2P style*.

- Realizar la migración completa de la implementación del prototipo IMaaS-XPort al prototipo IMaaS-MOXA y completar la pila IMaaS en este último prototipo.
- Realizar distintas pruebas de escalabilidad y rendimiento con los tres prototipos desarrollados.

Líneas Futuras

La presente memoria de tesis representa el primer trabajo de investigación de la línea *informática industrial y robótica* del grupo de investigación *GrupoM: redes y middleware*, que ha tenido como consecuencia la apertura de tres grandes líneas que aseguran la continuidad de la investigación:

- Incorporación de semántica al sistema de gestión de procesos ágil y al modelo IMaaS de la maquinaria industrial a partir de la propuesta descrita en el trabajo.
- Integración de la cadena de suministros en el sistema de gestión de procesos ágil.
- Integración del paradigma MDA para la normalización del modelado de procesos en los sistemas de gestión de procesos ágil.

De estas tres grandes líneas de continuidad en el futuro el grupo se va a centrar en la primera, en la introducción de semántica en el sistema BPMS y la arquitectura IMaaS para dotar de mayor automatismo y agilidad la propuesta. De hecho, en la actualidad ya se ha comenzado la investigación por parte de varios miembros del grupo y cuyos resultados se han plasmado en la publicación de dos artículos en congresos de ámbito internacional y uno de ámbito local.

Publicaciones y Referencias

A partir de la investigación realizada en este trabajo se ha obtenido un conjunto de publicaciones en revistas internacionales y congresos de ámbito nacional e internacional. En total se han generado dos publicaciones en revistas internacionales y más de 30 publicaciones en congresos internacionales relacionados con el ámbito de la propuesta.

A continuación se recogen las siete publicaciones tanto en revistas como en congresos que se han considerado más relevantes, junto con un breve análisis de sus indicios de calidad que permiten avalar dicha relevancia en el ámbito de la investigación. También se presenta un extracto con las principales contribuciones.

Publicaciones más relevantes

Revistas

“Wake on LAN over Internet as Web Service System on Chip.” F. Maciá Pérez, J.A. Gil Martínez Abarca, H. Ramos Morillo, F. Mora Gimeno, D. Marcos Jorquera, V. Gilart Iglesias. IEEE Transactions on Industrial Electronics. (Pendiente de publicación).

- Indicios de calidad: índice de impacto JCR 2008: 5,468. Posición 1/52 dentro de la categoría “Automation & Control Systems”

Congresos

“Semantic-driven Manufacturing Process Management Automation.” Maciá Pérez, V. Gilart Iglesias, A. Ferrándiz Colmeiro, J.V. Berná Martínez, J. Gea Martínez. Proceedings of the 14th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA'09). 2009.

- Indicios de calidad: Uno de los congresos internacionales del IEEE más importantes en el ámbito de las tecnologías emergentes aplicadas a la industria y automatización industrial. Sistema de revisión por pares.

“New Models of Agile Manufacturing Assisted by Semantic.” F. Maciá Pérez, V. Gilart Iglesias, A. Ferrándiz Colmeiro, J.V. Berná Martínez, J. Gea Martínez. Proceedings of the IEEE EDOC 2009 workshops and short papers. 2009.

- Indicios de calidad: Congreso internacional del IEEE de tipo “B” según la clasificación del CORE (*Computing Research and Eductaion*) que incluye el ámbito de la gestión de procesos de negocio y tecnologías de la información.

“Management system for manufacturing components aligned with the organisation IT systems.” D. Marcos Jorquera, F. Maciá Pérez, V. Gilart Iglesias, J. Gea Martínez, A. Ferrándiz Colmeiro. 7th International Conference on Practical Application of Agents and Multi-Agents Systems (PAAMS 2009). Advances in Intelligent and Soft Computing 55. 2009.

- Indicios de calidad: Situado entre sesenta y cinco congresos más importantes en el ámbito de la inteligencia artificial, aprendizaje de máquinas, robótica e interacción hombre-máquina según el *Computer Science Conference Ranking* (posición 52 con un índice de 0,56 sobre 1).

“Industrial Machines as a Service: Modelling industrial machinery processes.” V. Gilart Iglesias, F. Maciá Pérez, D. Marcos Jorquera, F.J. Mora Gimeno. 5th IEEE International Conference on Industrial Informatics. Conference Proceedings. 2007.

- Indicios de calidad: Uno de los congresos internacionales del IEEE más importantes en el ámbito de la informática industrial. Sistema de revisión por pares.
- Artículo referenciado desde siete publicaciones no propias de ámbito internacional destacando:

- “Time-constrained services: a framework for using real-time web services in industrial automation.” *Service Oriented Computing and Applications*, Vol. 3, No. 4, diciembre 2009. ISSN 1863-2386.
- “SOAP4PLC: Web Services for Programmable Logic Controllers.” *At Proceedings of the 17th Euromicro International Conference on Parallel, distributed and network-based processing*, 2009. ISBN 978-0-7695-3544-9.
- “iDiagnosis & Prognosis for Supporting of Manufacture.” *At Proceedings of the International conference on advanced intelligent mechatronics*, 2009.

“Normalization of industrial machinery with embedded devices and SOA.” V. Gilart Iglesias, F. Maciá Pérez, F.J. Mora Gimeno, J.V. Berná Martínez. *Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA'06)*. 2006.

- Indicios de calidad: Uno de los congresos internacionales del IEEE más importantes en el ámbito de las tecnologías emergentes aplicadas a la industria y automatización industrial. Sistema de revisión por pares.
- Artículo citado desde seis publicaciones no propias de ámbito internacional destacando:
 - “Time-constrained services: a framework for using real-time web services in industrial automation.” *Service Oriented Computing and Applications*, Vol. 3, No. 4, diciembre 2009. ISSN 1863-2386.
 - “Service Oriented Device Integration–An Analysis of SOA Design Pattern.” *At Proceedings of the Hawaii international Conference on system Sciences*, 2010.
 - “Towards a Time-Constrained Web Service Infrastructure for Industrial Automation.” *At*

Proceedings of 13th IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, September 15-18, 2008, Hamburg, Germany, pp. 846-853.

“Industrial Machines as a Service: A model based on embedded devices and Web Services.” V. Gilart Iglesias, F. Maciá Pérez, J.A. Gil Martínez-Abarca, A. Capella D'alton. 2006 IEEE International Conference on Industrial Informatics. 2006.

- Indicios de calidad: Uno de los congresos internacionales del IEEE más importantes en el ámbito de la informática industrial. Sistema de revisión por pares.
- Artículo citado desde seis publicaciones no propias de ámbito internacional destacando:
 - “Architectural Paradigms for Robotics Applications.” *Advanced Engineering Informatics*, Vol.24, Issue 1, 2010. ISSN 1474-0346.
 - “Integrating Wireless Sensor Networks into Enterprise Information Systems by Using Web Services.” *At Proceedings of the 3rd International Conference on Sensor Technologies and Applications*, 2009. ISBN 978-0-7695-3669-9.

Otras Publicaciones de Relevancia Relacionadas con la Investigación

“Industrial TCP/IP Services Monitoring through Embedded Web Services.” F. Maciá Pérez, D. Marcos Jorquera, V. Gilart Iglesias. *EURASIP Journal on Embedded Systems*. 2007.

“Energy Management System as a Embedded Service: Saving Energy Consumption of ICT.” F. Maciá Pérez, D. Marcos Jorquera, V. Gilart Iglesias. *Architecture of Computing Systems - ARCS 2009. 22nd International Conference*. Delft, The Netherlands, March 2009. *Proceedings. Lecture Notes in Computer Science* 5455. 2009.

“Platform for intelligent management of Industrial Machinery based on service-oriented architecture.” L.F. Herrera Quintero, V. Berenguer Miralles, F. Restrepo Calle, R. Gomez, V. Gilart Iglesias, F. Maciá Pérez. Distance Learning, Multimedia and Video Technologies. 2008.

“Embedded Web Services for Industrial TCP/IP Services Monitoring.” F. Maciá Pérez, D. Marcos Jorquera, V. Gilart Iglesias. Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA'07). 2007.

“Service model for the management of industrial environments. Dynamic reconfiguration of production elements.” D. Marcos Jorquera, F. Maciá Pérez, V. Gilart Iglesias, J.A. Gil Martínez-Abarca. 5th IEEE International Conference on Industrial Informatics. Conference Proceedings. 2007.

“Services and networks management through embedded devices and SOA.” V. Gilart Iglesias, F. Maciá Pérez, J.A. Gil Martínez-Abarca, D. Marcos Jorquera. Proceedings of the 10th IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference EDOC 2006. 2006.

“Business Continuity Model. Regeneration System for Manufacturing Components.” D. Marcos Jorquera, F. Maciá Pérez, V. Gilart Iglesias, J.V. Berná Martínez. Proceedings of the 10th IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference EDOC 2006. 2006.

“Fault Tolerance for Manufacturing Components.” D. Marcos Jorquera, F. Maciá Pérez, V. Gilart Iglesias, A. Capella D'alton. Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA'06) . 2006.

“Wake on LAN over Internet as Web Service.” J.A. Gil Martínez-Abarca, F. Maciá Pérez, D. Marcos Jorquera, V. Gilart Iglesias. Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA'06). 2006.

“Distributed robotic architecture based on smart services.” J.V. Berná Martínez, F. Maciá Pérez, H. Ramos Morillo, V. Gilart Iglesias. 2006 IEEE International Conference on Industrial Informatics. 2006.

“Network Service Providing by means of Embedded Systems.” F. Maciá Pérez, V. Gilart Iglesias, D. Marcos Jorquera, J.A. Gil Martínez-Abarca. 2006 IEEE International Conference on Industrial Informatics. 2006.

“High Availability for Manufacturing Components.” D. Marcos Jorquera, F. Maciá Pérez, V. Gilart Iglesias, J.A. Gil Martínez-Abarca. 2006 IEEE International Conference on Industrial Informatics. 2006.

“Robotic architecture based on electronic business models. From physics components to smart services.” J.V. Berná Martínez, F. Maciá Pérez, V. Gilart Iglesias, D. Marcos Jorquera. Proceedings of the Third International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics. 2006.

“A methodology for large-scale E-Business project management.” V. Gilart Iglesias, F. Maciá Pérez, D. Marcos Jorquera, A. Capella D'alton, J.V. Berná Martínez. Proceedings of the IADIS International Conference E-Commerce 2005. 2005.

“Decoupling MVC: J2EE Design Pattern Integration.” F. Maciá Pérez, V. Gilart Iglesias, D. Marcos Jorquera, J.M. García Chamizo, A. Hernández Sáez. Proceedings of the 7th International Conference on Enterprise Information Systems. 2005.

“A model for developing J2EE applications based on design patterns.” V. Gilart Iglesias, F. Maciá Pérez, A. Hernández Sáez, D. Marcos Jorquera, J.M. García Chamizo. IADIS International Conference on Applied Computing, 2005.

Referencias Bibliográficas

(6PM, 2002)

Sixth Framework Program. (Online) Available at:
<http://cordis.europa.eu/fp6/dc/index.cfm?fuseaction=UserSite.FP6HomePage>
(Noviembre, 2009).

(7PM, 2007)

Seventh Framework Program. (Online) Available at:
<http://cordis.europa.eu/fp7/dc/index.cfm> (Noviembre, 2009).

(Al-Safi & Vyatkin, 2007)

Al-Safi, Y. and Vyatkin, V. "An Ontology-Based Reconfiguration Agent for Intelligent Mechatronic Systems." *Proceedings of the 3rd international conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems: Holonic and Multi-Agent Systems for Manufacturing*. LNAI 4659, pp. 114–126, 2007. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.

(Alting, 1993)

Alting, L. "Manufacturing Engineering Processes." *Marcel Dekker*, 1993.

(Avella & Vázquez, 2005)

Avella, L. and Vázquez, D. "Is Agile Manufacturing a New Production Paradigm." *Universia Business Review*, ISSN 1698-5117, N° 6, pp. 94-107, 2005.

(Axis2, 2010)

Apache Axis2. Apache Group. (Online) Available at:
<http://ws.apache.org/axis2/> (Enero, 2010).

(Babiceanu & Chen, 2006)

Babiceanu, R. & Chen, F. "Development and applications of holonic manufacturing systems: a survey." *Journal of Intelligent Manufacturing*, No. 17, pp. 111–131, 2006.

(Barata et al., 2006)

Barata, J., Santana, P. F. & Onori, M. "Evolvable Assembly Systems: A Development Roadmap." *IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing*, Saint-Etienne, France, 2006.

(Barata et al., 2007a)

Barata, J., Frei, R. & Onori, M. "Evolvable Production Systems Context and Implications." *IEEE International Symposium on Industrial Informatics*, Vigo, 2007.

(Barata et al., 2007b)

Barata, J., Onori, M., Frei, R. & Leitão, P. "Evolvable Production Systems: Enabling Research Domains." *International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production*, Toronto (Canada), 2007.

(Barata et al., 2007c)

Barata, J., Ribeiro, L. & Colombo, A. "Diagnosis using Service Oriented Architectures (SOA)." *Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Industrial Informatics*, pp. 951-956. Vienna, 2007.

(Barros, 2007)

Barros, O. "Business process architecture and design." *Business Process Trend*, 1 May, 2007. (Online) Available at: <http://www.bptrends.com/publicationfiles/05-07-ART-Business%20Processes%20and%20Design-Barros.pdf> (Diciembre, 2009).

(BPELP, 2010)

BPEL Project. Eclipse Group. (Online) Available at: <http://www.eclipse.org/bpel/> (Enero, 2010).

(BPML, 2001)

Business Process Modeling Language. (Online) Available at: <http://xml.coverpages.org/bpml.html> (Diciembre, 2009).

(Brennan et al., 2002)

Brennan, R.W., Fletcher M. & Norrie, D.H. "An Agent-Based Approach to Reconfiguration of Real-Time." *Distributed Control Systems. IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 18, N° 4, pp. 444-451, 2002.

(Burlton, 2001)

Burlton, R.T. "Business Process Management. Profiting from process." *SAMS Publishing*, 2001.

(Bussmann et al., 2004)

Bussmann, S., Jennings, N. R. & Wooldridge, M. "Multiagent Systems for Manufacturing Control: A Design Methodology", *Springer, Berlin*, 2004.

(Bussmann & McFarlane, 1999)

Bussmann, S. & McFarlane, D. C. "Rationales for Holonic Manufacturing." *Second*

International Workshop on Intelligent Manufacturing Systems, Leuven, Belgium, pp. 177 – 184, 1999.

(Carnero, 2005)

Carnero, M.C. “An evaluation system of the setting up of predictive maintenance programmes”. *Reliability Engineering and System Safety*, vol.91, pp.945-963, 2005.

(Cater, 2006)

Cater project. (Online) Available at: <http://www.cater-ist.org/> (Enero, 2010).

(Catsoulis, 2005)

Catsoulis, J. “Designing embedded hardware. Second edition.” *O’Reilly*, USA, 2005.

(Chang, 2005)

Chang, J.F. “Business Process Management Systems. Strategy and Implementation.” *Auerbach Publications*, 2005.

(Cianfrani & West, 2004)

Cianfrani, C.A. & West, J.E. “ISO 9001:2000 aplicada a la fabricación.” *AENOR*, 2004.

(Cline et al., 2006)

Cline, K., Cohen, J., Davis, D., Ferguson, D.F., Kreger, H., McCollum, R., Murray, B., Robinson, I., Schlimmer, J., Shewchuk, J., Tewari, V. & Vambenepe, W. “Toward Converging Web Service Standards for Resources, Events, and Management.” (Online) Available at: <http://xml.coverpages.org/ConvergingWS-ResourcesEventsManagement20060315.pdf> (Diciembre, 2009).

(Colgrave & Januszewski, 2004)

Colgrave, J. & Januszewski, K. “Using WSDL in a UDDI Registry, Version 2.0.2.” *OASIS*. (Online) Available at: <http://www.oasis-open.org/committees/uddi-spec/doc/tn/uddi-spec-tc-tn-wsdl-v202-20040631.htm> (Diciembre, 2009).

(CORDIS, 2008)

Community Research and Development Information Service. (Online) Available at: http://cordis.europa.eu/home_en.html (Diciembre, 2008).

(Davenport & Short, 1990)

Davenport, T. & Short, J.E. “The industrial engineering information technology and business process redesign.” *Sloan Management Review*, 1990.

(Davenport, 1993)

Davenport, T. “Process Innovation.” *Harvard Business School Press*, USA, 1993.

(DCOM, 2010)

DCOM industrial protocol. *ICPDAS*. (Online) Available at: http://www.icpdas.com/download/7000/whatisdconprotocol_eng.htm (Enero, 2010).

(De Castro et al., 2004)

De Castro, V., Marcos, E. & Vela, B. "Representing WSDL with Extended UML." *Revista Colombiana de Computación*, Vol. 5(1), Ed.: Universidad Autónoma de Bucaramanga (Colombia), ISSN: 1657-2831, pp. 7-21, 2004. (Online) Available at: <http://www.springerlink.com/content/qar8dkgq7cgrd0wa> (Diciembre, 2009).

(Dillon et al., 2008)

Dillon, T. S., Wu, C. & Chang, E. "Reference Architectural Styles for Service-Oriented Computing." *Network and Parallel Computing*, LNCS Vol. 4672/2008, ISBN 978-3-540-74783-3, 2008.

(DIME, 2001)

Direct Internet Message Encapsulation specification. (Online) Available at: <http://bgp.potaroo.net/ietf/all-ids/draft-nielsen-dime-00.txt> (Diciembre, 2009).

(Di Pierri, 2006)

Di Pierri, C. "De la producción masiva a la personalización masiva: los deseos de los consumidores y las nuevas tecnologías como factores modeladores del cambio." *Argos*, Vol. 23, No. 44, pp. 21-31, 2006.

(DMTF, 2010)

Distributed Management Task Force. (Online) Available at: <http://www.dmtf.org> (Diciembre, 2009).

(DPWS, 2009)

Device Profile web Service. *OASIS*. (Online) Available at: http://www.oasis-open.org/committees/tc_home.php?wg_abbrev=ws-dd (Diciembre, 2009).

(EEEBox, 2010)

Asus EEEBox. (Online) Available at: <http://asus.com/Search.aspx?SearchKey=EEEBox> (Febrero, 2010).

(EFQM, 2010)

Modelo EFQM de Excelencia. (Online) Available at: <http://www.efqm.org> (Enero, 2010).

(Elzinga et al., 1995)

Elzinga, D.J., Horak, T., Lee, C. & Bruner, C. "Business Process Management: survey and Methodology." *IEEE Transaction of Engineering Management*, Vol. 42, N° 2, pp.119-128, May, 1995.

(Erl, 2005)

Erl, T. "Service-Oriented Architecture. Concepts, technologies and design." *Prentice Hall*, 2005.

(Erl, 2009)

Erl, T. "SOA Design Patterns." *Prentice Hall*, 2009.

(Espinosa, 2003)

Espinosa, M.M. "Introducción a los procesos de fabricación." *UNED*, 2003.

(Eriksson & Penker, 2000)

H.E. Eriksson & Penker, M. "Business modeling with UML: Business pattern at work." *Wiley*, 2000.

(Frei et al., 2007a)

Frei, R. M., Ribeiro, L., Barata, J., and Semere, D. "Evolvable Assembly Systems: Towards User Friendly Manufacturing." *IEEE International Symposium on Assembly and Manufacturing*, Ann Arbor, USA, 2007.

(Frei et al., 2007b)

Frei, R., Barata, J. & Di Marzo Serugendo, G. "A complexity theory approach to evolvable production systems." *Internacional Conferecne in informatics and control, automation and robotics*, Angers, France, 2007.

(García-Fernández et al., 2002)

García-Fernández, M.C., Sanz-Bobi, M.A. & Del Pico, J. "Aplicación de técnicas de inteligencia artificial en el mantenimiento predictivo de aerogeneradores." *Proceedings of IV Jornadas de Fiabilidad: Confiabilidad*. 2002.

(Geminiuc, 2010)

Geminiuc, K. "A Services-Oriented Approach to Business Rules Development." *Oracle*.(Online) Available at: http://www.oracle.com/technology/pub/articles/bpel_cookbook/geminiuc.html (Enero, 2010).

(Giaglis, 2001)

Giaglis, G.M. "A Taxonomy of Business Process Modeling and Information Systems Modeling Techniques". *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, Volume 13, Number 2, April 2001 , pp. 209-228(20), Springer.

(Gill & Hobday, 1999)

Gill, D. & Hobday, J. "Internet embedded devices for industrial applications." *ERA Technology*, UK. 1999.

(Giret et al., 2005)

Giret, A. Julián, V. & Botti, V.J. "Agentes Software y Sistemas Multi-Agente: Conceptos, arquitecturas y aplicaciones. Aplicaciones Industriales de los sistemas Multiagentes." *Pearson Prentice Hall*, ISBN : 84-205-4367-5, 2005.

(Gómez-Fraile et al., 2005)

Gómez-Fraile, F., Tejero-Monzón, M. & Vilar-Barrio, J.F. "Como hacer el manual de calidad según la nueva ISO 9001:2000." *Fundación Confemetal*, 2005.

(Gou et al., 1998)

Gou, L., Luh, P. B. & Kyoka, Y. "Holonc Manufacturing Scheduling Architecture,

Cooperation Mechanism and Implementation." *Computers in Industry*, Vol. 37(3), pp. 213-231, 1998.

(Groover, 2000)

Groover, M.P. "Automation, production systems, and computer integrated, 2nd edition." *Prentice Hall*, 2000.

(gSOAP, 2010)

The gSOAP Toolkit for SOAP Web Services and XML-Based Applications. (Online) Available at: <http://www.cs.fsu.edu/~engelen/soap.html> (Enero, 2010).

(Hammer, 1990)

Hammer, M. "Reengineering Work: Don't Automate, Obliterate." *Harvard Business Review*, pp. 104-112, 1990.

(Hammer & Champy, 1993)

Hammer, M. & Champy, J. "Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution". *Harper Business*, 1993.

(Hammer, 1997)

Hammer, M. "Beyond Reengineering: How the Process-Centered Organization is Changing Our Work and Our Lives." *HarperBusiness*, 1997.

(Harmon et al., 2001)

Harmon, P., Rosen, M. & Guttman, M. "Developing E-business Systems and Architectures: A Manager's Guide." *Morgan Kaufmann Publishers*, San Francisco, USA. 2001.

(Harmon, 2003)

Harmon, P. "Business Process Change. A Manager's guide to improving, redesigning and automating processes." *Morgan Kaufmann*, 2003.

(Harmon, 2005)

Harmon, P. "Service Oriented Architectures and BPM." *Business Process Trend*, 22 February, 2005. (Online) Available at: <http://www.bptrends.com/publicationfiles/bptemailadvisor022205.pdf> (Noviembre, 2009).

(Hibernate, 2010)

Hibernate Persistence Framework. (Online) Available at: <https://www.hibernate.org> (Enero, 2010).

(Höfferer, 2007)

Höfferer, P. "Achieving Business Process Model Interoperability Using Metamodels and Ontologies." *Proceedings of the 15th European Conference on Information Systems (ECIS2007)*, pp.1620-1631, 2007.

(Huang & Gannon, 2006a)

Huang, Y. & Gannon, D. "A Comparative Study of Web Services-based Event Notification Specifications." *Proc. of Workshop on Web Services-based Grid Applications (WSGA)*, pp. 7-14, 2006.

(Huang & Gannon, 2006b)

Huang, Y. & Gannon, D. "A Flexible and Efficient Approach to Reconcile Different Web Services-based Event Notification Specifications." *International Conference on Web Services (ICWS)*, pp. 735-742, 2006.

(ICPDAS, 2010)

(Online) Available at: www.icpdas.com (Enero, 2010).

(ISO, 2000)

ISO/TC 176/SC 2/N544R. "Guidance on the Process Approach to Quality Management." *ISO*. (Online) Available at: www.iso.ch/iso/en/iso9000/200rev9.html (Enero, 2010).

(ITEA, 2007)

The ITEA initiative. (Online) Available at: <http://www.itea-office.org> (Enero, 2010).

(ITEA2, 2009)

The ITEA2 initiative. (Online) Available at: <http://www.itea2.org/> (Enero, 2010).

(Jammes & Smit, 2005)

Jammes, F. & Smit, H. "Service-Oriented paradigms in industrial automation," *IEEE Transaction on industrial informatics*. VOL I. n° 1, pp. 62-70. 2005.

(Jammes et al., 2005)

Jammes, F., Smit, H., Martínez-Lastra, J.L. & Delamer, I.M. "Orchestration of Service-Oriented Manufacturing Processes," *Proc. of the 10th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA 2005*, Catania, Italy, September 19-22, 2005.

(Jeston & Neils, 2006)

Jeston, J. & Neils, J. "Business Process Management. Practical guide to successful implementations." *Elsevier*, 2006.

(Johnson, 2004)

Johnson, C. "ISA 95: How and Where can it be applied." 2004. (Online Available at: <http://www.isa.org/fmo/newsweb/pdf/TP04ISA065.pdf> (Junio 2005).

(jUDDI, 2010)

Apache jUDDI. *Apache Group*. (Online) Available at: <http://ws.apache.org/juddi/> (Enero, 2010).

(Kalogeras et al., 2006)

Kalogeras, A.P., Gialelis, J.V., Alexakos, C.E., Georgoudakis, M.J. & Koubias, S.A.

“Vertical integration of enterprise industrial systems utilizing Web Service.” *IEEE Transaction on Industrial Informatics*, Vol. 2, No. 2, pp. 120-128, Mayo, 2006.

(Kalogeras et al., 2004)

Kalogeras, A.P., Gialelis, J.V., Alexakos, C.E., Georgoudakis, M.J. & Koubias, S.A. “Vertical integration of enterprise industrial systems utilizing Web Service.” *Proceedings of the 5th IEEE International Workshop on Factory Communication System (WFCS 2004)*, Technical University of Vienna, Vienna, Austria, 22-24 September 2004.

(Kamoun, 2007)

Kamoun, F. “A roadmap towards the convergence of Business Process Management and Service Oriented Architecture.” *Ubiquity*, Volumen 8, 2007.

(Kandula, 2010)

Apache Kandula. *Apache Group*. (Online) Available at: <http://ws.apache.org/kandula/> (Enero, 2010).

(Karnouskos et al., 2007)

Karnouskos, S., Baecker, O., Moreira, L. & Spiess, P. “Integration of SOA-ready Networked Embedded Devices in Enterprise Systems via a Cross-Layered Web Service Infrastructure.” *In Proceedings Of the 12th IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, pp. 293-300, September 25-28, Patras (Greece), 2007.

(Kirkham et al., 2008)

Kirkham, T., Savio, D., Smit, H., Harrison, R., Monfared, R.P. & Phaitoonbuathong, P. “SOA MIDDLEWARE AND AUTOMATTON: Services, Applications and Architectures”. *In Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Industrial Informatics*, pp. 1419-1424, Julio 13-16, Daejeon (Korea), 2008.

(Koestler, 1968)

Koestler, A. “The gost in the machine”. *Penguin Group*, 1968. ISBN 0-14-019192-5.

(Koestler, 1978)

Koestler, A. “Janus: Summing Up”. *Vintage*, 1978. ISBN: 978-0394728865.

(Koren et al., 1999)

Koren, Y., Heisel, U., Jovane, F., Moriwaki, T., Pritchow, G., Ulsoy, A. G., & Van Brussel, H. "Reconfigurable Manufacturing Systems." *Annals of the CIRP*, Vol. 2, pp. 1-13. 1999.

(Kreger, 2001)

Kreger, H. “Web services conceptual architecture.” *IBM Software Group*, May 2001. (Online) Available at: <http://www.cs.uoi.gr/~zarras/mdw-ws/WebServicesConceptualArchitectu2.pdf> (Diciembre, 2009).

(Lastra & Delamer, 2006)

Lastra, J. L. & Delamer, I. M. “Semantic Web Services in Factory Automation:

Fundamental Insight and Research Roadmap." *IEEE Transactions On Industrial Informatics*, vol 2, n°1, Febrero, 2006.

(Lee et al., 2004)

Lee, S-M., Harrison, R. & West, A.A. "A component-based distributed control system for assembly automation." *Proceedings of 2nd International Conference on Industrial Informatics*, pp. 33-38, Junio 23-26, Berlin (Germany), 2004.

(Lippe et al., 2005)

Lippe, S., Greiner, U. & Barros, A. "A survey on state of the art to facilitate modelling of cross-organisational." *In Proceedings of the 2nd GI-WorkShop XMLABPM*, Karlsruhe (Germany), 2005.

(Lobov et al., 2008)

Lobov, A., Puttonen, J., Herrera, V.V., Andiappan, R. & Lastra, J.L. "Service Oriented Architecture in Developing Loosely-coupled Manufacturing Systems." *In Proceeding of the 6th IEEE International Conference on Industrial Informatics*, pp. 791-796, Julio 13-16, Daejeon (Korea), 2008.

(Maciá et al., 2005)

Maciá-Pérez, F., Gilart-Iglesias, V., García-Chamizo, J.M., Hernández-Sáez, A. & Marcos-Jorquera, D. "Decoupling MVC: J2EE design patterns integration." *In Proceedings of the 7th International Conference on Enterprise Information Systems*, pp. 280-287, INTICC Press, 2005.

(Marik & McFarlane, 2005)

Marik, V. & Mcfarlane, D.C. "Industrial adoption of agent-based technologies." *Intelligent Systems*, Vol. 20(1), pp. 27-35, 2005.

(Marks & Bell, 2006)

Marks, E. A. & Bell, M. "Service Oriented Architecture. A planning and implementation guide for business and technology." *Wiley*, 2006.

(Martínez et al., 2008)

Martínez, J. F., López, M., Hernández, V., Kathlyn, J. M., García, A. B., López, L., Herrera, C. & Sánchez-Alarcos, C. "A security architectural approach for DPWS-based devices". *In Proceedings of Collaborative Electronic Commerce Technology and Research*, IEEE (CoLLECTeR), ISBN 978-84-95227-61-4, April 2008.

(Mathes et al., 2009)

Mathes, M., Stoidner, C., Heinzl, S. & Freisleben, B. "SOAP4PLC: Web Services for Programmable Logic Controllers." *In Proceedings of the 2009 17th Euromicro International Conference on Parallel, Distributed and Network-based Processing*, pp.210-219, 2009.

(Mehrabi et al., 2000)

Mehrabi, M. G., Ulsoy, A. G. & Koren, Y. "Reconfigurable Manufacturing Systems and their Enabling Technologies." *International Journal Manufacturing Technology and Management*, No. 1, pp. 113-130, 2000.

(Mending et al., 2004)

Mending, J., Neumann, G. & Nüttgens, M. "A Comparison of XML Interchange Formats for Business Process Modelling." *In Proceedings of the Information Systems in E-Business and E-Government*, LNI, Vol. 56, pp. 129-140, 2004.

(McFarlane & Bussmann, 2000)

McFarlane, D.C. & Bussmann, S. "Developments in Holonic Production Planning and Control." *International Journal of Production Planning and Control*, Vol. 11, No. 6, pp. 522 – 536, 2000.

(Moreira et al., 2008)

Moreira, L., Spiess, P., Guinard, D., Köhler, M., Karnouskos, S. & Savio, D. "SOCRADES: A Web Service Based Shop Floor Integration Infrastructure." *The Internet of things*, LNCS, Vol. 4952, pp. 50-67, *Springer Berlin*, 2008.

(Moreno, 2004)

Moreno, R.P. "Ingeniería de la automatización industrial." *Ra-Ma*, Madrid, Spain, 2004.

(MOXA, 2010)

MOXA embedded device. (Online) Available at: http://www.moxa.com/product/UC-7112_UC-7110.htm (Febrero, 2010).

(MTOM, 2005)

Message Transmission Optimization Mechanism specification. *W3C*. (Online) Available at: <http://www.w3.org/TR/soap12-mtom/> (Diciembre, 2009).

(MUSE, 2010)

Apache MUSE project. *Apache Group*. (Online) Available at: <http://ws.apache.org/muse/> (Enero, 2010).

(Myerson, 2002)

Myerson, J. M. "Web Service Architecture". (Online) Available at: <http://www.webservicesarchitect.com/content/articles/webservicesarchitectures.pdf> (Diciembre, 2009).

(OASIS, 2010)

Organization for the Advancement of Structured Information Standards. (Online) Available at: <http://www.oasis-open.org> (Diciembre, 2009).

(ODE, 2010)

Apache ODE. *Apache Group*. (Online) Available at: <http://ode.apache.org/> (Enero, 2010).

(OMG, 2010)

Object management Group. (Online) Available at: <http://www.omg.org/> (Diciembre, 2009).

(Onori et al., 2006)

Onori, M., Barata, J. & Frei, R. (2006). "Evolvable Assembly Systems Basic Principles." *Conference on Information Technology for BALANCED AUTOMATION SYSTEMS in Manufacturing and Services*, Springer, Ontario (Canada), 2006.

(Open-Group, 2010)

OPEN Group, (Online) Available at:
<http://www.opengroup.org/projects/soa/doc.tpl?gdid=10632>
 (Enero, 2010).

(Porter, 1985)

Porter, M. E. "Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance." *Free Press*, 1985.

(Porter, 1996)

Porter, M.E. "What is strategy?" *Harvard Business Review*, pp. 61-78, November-December, 1996.

(Rampart, 2010)

Apache Rampart. *Apache Group*. (Online) Available at:
http://ws.apache.org/axis2/modules/rampart/1_2/security-module.html (Enero, 2010).

(Regani, 2005)

Regani, S. "Mass customization as a differentiation strategy at BMW". *BMW Group*, 2005.

(Ribeiro et al., 2008)

Ribeiro, L., Barata, J. & Mendes, P. "MAS and SOA: Complementary Automation Paradigms." *In IFIP International Federation for Information Processing. Innovation in Manufacturing Networks*, Vol. 266, pp. 259-268, Springer, Boston, 2008.

(Rinderle et al., 2006)

Rinderle, S., Kreher, U., Lauer, M. & Dada, P. "On Representing Instance Changes in Adaptive Process Management Systems." *In Proceedings of the 15th IEEE International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises, WETICE'2006*. pp 297-304, 2006.

(Robledo & De Laurentiis, 2006)

Robledo, P. & De Laurentiis, R. "El estado del BPM y las tendencias en España." *Club-BPM*. (Online) Available at: <http://www.club-bpm.com/Noticias/art00110.htm> (Enero, 2010).

(RuleML, 2010)

Rule Markup Language. (Online) Available at: <http://ruleml.org/> (Diciembre, 2009).

(Rummler & Brache, 1995)

Rummler, G. A. & Brache, A.P. "Improving Performance: How to Manage the White Space in the Organization Chart. 2nd edition." *Jossey-Bass*, 1995.

(Sandesha, 2010)

Apache Sandesha. *Apache Group*. (Online) Available at: <http://ws.apache.org/sandesha/sandesha2/> (Enero, 2010).

(SeBW, 2008a)

Sectorial e-Business Watch. "Las TIC y las tendencias del negocio electrónico en 2008. Hacia el negocio electrónico 3.0." *Sectorial e-Business Watch. European Commission*. (Online) Available at: http://www.ebusiness-watch.org/key_reports/documents/ExecSum_2008_EU27languages/SeBW_Abstact_ES.pdf (Enero, 2010).

(SeBW, 2008b)

Sectorial e-Business Watch. "E-Business in Europe: Industry perspectives on e-business developments and ICT impact." *Sectorial e-Business Watch. European Commission*. (Online) Available at: http://www.ebusiness-watch.org/key_reports/documents/BRO08.pdf (Enero, 2010).

(Shrideep et al., 2005)

Pallickara, S., Fox, G. & Pallickara, L. "An Analysis of Reliable Delivery Specifications for Web Services." *In Proceedings of the International Conference on Information Technology: Coding and Computing (ITCC'05)*, Vol. 1, pp. 360-365, 2005.

(SIRENA, 2003)

The SIRENA project. (Online) Available at: <http://www.sirena-itea.org> (Enero, 2010).

(Slack, 2005)

Slack, N. "The flexibility of manufacturing systems." *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 25, No. 12, pp. 1190-1200, 2005.

(Smith, 1776)

Smith, A. "An inquiry into the nature and causes of the wealth of nations." *The University of Chicago Press*, 1976.

(Smith & Fingar, 2002)

Smith, H. & Fingar, P. "Business Process Management. The Third Wave." *Meghan-Kiffer*, 2002.

(SOAP, 2007)

Simple Object Access Protocol specification. *W3C*. (Online) Available at: <http://www.w3.org/TR/soap12-part1/> (Diciembre, 2009).

(SOA-RM, 2010)

SOA Reference Model. *OASIS*. (Online) Available at: <http://docs.oasis-open.org/soa-rm/v1.0/soa-rm.pdf> (Enero, 2010).

(SOCRADES, 2006)

SOCRADES project. (Online) Available at: <http://www.socrades.eu/Home/default.html> (Enero, 2010).

(SODA, 2006)

The SODA project. (Online) Available at: <http://www.soda-itea.org> (Enero, 2010).

(Sosnoski, 2009)

Sosnoski, D. "Servicios Web Java: el alto coste de WS-Security." (Online) Available at: <http://www.ibm.com/developerworks/ssa/library/j-jws6/index.html> (Diciembre 2009).

(SRML, 2010)

Simple Rule Markup Language. (Online) Available at: <http://xml.coverpages.org/srml.html> (Diciembre, 2009).

(Staudinger, 2010)

Staudinger GMBH. (Online) Available at: <http://www.staudinger-est.de/> (Febrero, 2010).

(SwA, 2000)

Soap with Attachment specification. *W3C*. (Online) Available at: <http://www.w3.org/TR/SOAP-attachments> (Diciembre, 2009).

(Sweeney, 2010)

Sweeney, R. "SOA and BPM - Taking the Enterprise to the Next Level". (Online) Available at: <http://www.bpminstitute.org/whitepapers/whitepaper/article/soa-and-bpm-taking-the-enterprise-to-the-next-level-1.html> (Enero, 2010).

(Topp & Müller, 2002)

Topp, U. & Müller, P. "Web based service for embedded devices," *International Workshop on Web Service: Research, Standardization and Deployment (WS-RSD'02)*. Lecture Notes in Computer Science. Web, Web Service and Database Systems, pp. 141-153, 2002.

(Transparent Factory, 2001)

Transparent Factory. *Manual de usuario y planificación*. (Online) Available: <http://www.modicon.com>, 2001.

(UDDI, 2004)

Universal Description, Discovery and Integration specification. *OASIS*. (Online) Available at: <http://www.oasis-open.org/committees/uddi-spec/doc/spec/v3/uddi-v3.0.2-20041019.htm> (Diciembre, 2009).

(UDDI4J, 2010)

UDDI4J Api. (Online) Available at: <http://uddi4j.sourceforge.net/> (Enero, 2010).

(Ueda, 1992)

Ueda, K. "A concept for bionic manufacturing systems based on DNA-type information." *PROLAMAT, IFIP*, Tokyo, 1992.

(UPnP, 2008)

Universal Plug and Play Devices Architecture. (Online) Available at: <http://www.upnp.org/specs/arch/UPnP-arch-DeviceArchitecture-v1.0.pdf> (Febrero, 2010).

(Van Brussel *et al.*, 1998)

Van Brussel, H., Wyns, J., Valckenaers, P., Bongaerts, L. & Peeters, P. "Reference Architecture for Holonic Manufacturing Systems: PROSA." *Computers in Industry*, Vol. 37, pp. 255-274, 1998.

(Vara *et al.*, 2004)

Marcos, E., De Castro, V. & Vela, B. "Una extensión de UML para el modelado de Servicios Web." *Revista Digital Científica y Tecnológica E-Gnosis*, Vol. 22(2), Ed. Universidad de Guadalajara, Jalisco, (Mexico), ISSN: 1665-5745, 2004. (Online) Available at: <http://www.e-gnosis.com.mx> (Diciembre, 2009).

(Villaseñor *et al.*, 2008)

Villaseñor, V., Bepperling, A., Lobov, A., Smit, H., Colombo, A. W. & Lastra, J.L. "Integration of Multi-Agent Systems and Service-Oriented Architecture for Industrial Automation." *In Proceeding of the 6th IEEE International Conference on Industrial Informatics*, pp. 768-773, Julio 13-16, Daejeon (Korea), 2008.

(Von Riegen & Trickovic, 2004)

Von Riegen, C. & Trickovic, I. "Using BPEL4WS in a UDDI registry." (Online) Available at: <http://www.oasis-open.org/committees/uddi-spec/doc/tn/uddi-spec-tc-tn-bpel-20040725.htm> (Diciembre, 2009).

(W3C, 2002)

Web Service Architecture specification. *W3C*. (Online) Available at: <http://www.w3.org/TR/2002/WD-ws-arch-20021114> (Diciembre, 2009).

(Ward-Dutton, 2009)

Ward-Dutton, N. "Bringing BPM and SOA Together for Maximum Business Value." (Online) Available at: <http://www.soainstitute.org/articles/article/article/bringing-bpm-and-soa-together-for-maximum-business-value.html> (Enero, 2010).

(Williams, 1998)

Williams, T.J. "The Purdue Enterprise Reference Architecture and Methodology (PERA)." *Chapman & Hall*, Londres, 1998.

(Woodley & Gagnon, 2005)

Woodley, T. & Gagnon, S. "BPM and SOA: Synergies and Challenges." LNCS Web Information Systems Engineering, WISE 2005, Vol. 3806, pp. 679-688, *Springer Berlin*, 2005.

(Worthington & Boyes, 2002)

Worthington, S.L.S. & Boyes, W. "E-Business in Manufacturing: Putting the Internet to work in the industrial enterprise." *ISA Press*, 2002.

(W3C, 2010)

World Wide Web Consortium. (Online) Available at: <http://www.w3.org/> (Diciembre, 2009).

(WSAT, 2006)

Web Service Atomic Transaction specification. *OASIS*. (Online) Available at: <http://docs.oasis-open.org/ws-tx/ws-at/2006/06> (Diciembre, 2009).

(WS-Addressing, 2004)

Web Services Addressing. *W3C*. (Online) Available at: <http://www.w3.org/Submission/ws-addressing/> (Diciembre, 2009).

(WSBA, 2007)

Web Service Business Activity specification. *OASIS*. (Online) Available at: <http://docs.oasis-open.org/ws-tx/wstx-wsba-1.2-spec-os.pdf> (Diciembre, 2009).

(WSBN, 2006)

Web Service Base Notification specification. *OASIS*. (Online) Available at: http://docs.oasis-open.org/wsn/wsn-ws_base_notification-1.3-spec-os.pdf (Diciembre, 2009)

(WSBRN, 2006)

Web Service Base Notification specification. *OASIS*. (Online) Available at: http://docs.oasis-open.org/wsn/wsn-ws_brokered_notification-1.3-spec-os.pdf (Diciembre, 2009).

(WS-BPEL, 2007)

Web service Business Process Execution Language specification. *OASIS*. (Online) Available at: http://www.oasis-open.org/committees/tc_home.php?wg_abbrev=wsbpel (Diciembre, 2009).

(WSC, 2006)

Web Service Coordination specification. *OASIS*. (Online) Available at: <http://docs.oasis-open.org/ws-tx/wscoor/2006/06> (Dicimembre, 2009).

(WSCI, 2002)

Web Service Choreography Interface specification. *W3C*. (Online) Available at: <http://www.w3.org/TR/2002/NOTE-wsci-20020808/> (Diciembre, 2009).

(WS-CDL, 2005)

Web Service Choreography Description Language specification. *W3C*. (Online) Available at: <http://www.w3.org/TR/ws-cdl-10/> (Diciembre, 2009).

(WS-CAF, 2006)

Web Service Composite Application Framework specification. *OASIS*. (Online) Available at: http://www.oasis-open.org/committees/tc_home.php?wg_abbrev=ws-caf (Diciembre, 2009).

(Christensen *et al.*, 2001)

Christensen, H., Curbera, F., Meredith, G. & Weerawarana. "Web Services Description Language WSDL 1.1." *W3C*. (Online) Available at: <http://www.w3.org/TR/wsdl> (Diciembre, 2009).

(WSDM,2006)

Web Service Distributed Management specification. *OASIS*. (Online) Available at: http://www.oasis-open.org/committees/tc_home.php?wg_abbrev=wsdm (Diciembre, 2009).

(WS-Discovery, 2009)

Web Service Discovery specification. *OASIS*. (Online) Available at: <http://docs.oasis-open.org/ws-dd/discovery/1.1/os/wsdd-discovery-1.1-spec-os.pdf> (Diciembre, 2009).

(WSE, 2006)

Web Service Eventing specification. *W3C*. (Online) Available at: <http://www.w3.org/Submission/WS-Eventing> (Diciembre, 2009).

(WSF, 2006)

Web Service Federation specification. (Online) Available at: http://download.boulder.ibm.com/ibmdl/pub/software/dw/specs/ws-fed/WS-Federation-V1-1B.pdf?S_TACT=105AGX04&S_CMP=LP (Diciembre, 2009).

(WSIL,2001)

Web Service Inspection Language specification. (Online) Available at: <http://download.boulder.ibm.com/ibmdl/pub/software/dw/specs/ws-wsilspec/ws-wsilspec.pdf> (Diciembre, 2009).

(Huang *et al.*, 2006)

Huang, Y., Slominski, A., Herath, C. & Gannon, D. "WS-Messenger: A Web Services based Messaging System for Service-Oriented Grid Computing." *6th IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid (CCGrid06)*, 2006.

(WSMDE, 2009)

Web Service Meta Data Exchange specification. *W3C*. (Online) Available at: <http://www.w3.org/TR/ws-metadata-exchange> (Diciembre, 2009).

(WS-Management, 2008)

Web Service Management specification. *DMTF*. (Online) Available at:
http://www.dmtf.org/standards/published_documents/DSP0226_1.0.0.pdf
(Diciembre, 2009).

(WSN, 2006)

web Service Notification specification. *OASIS*. (Online) Available at:
http://www.oasis-open.org/committees/tc_home.php?wg_abbrev=wsn (Diciembre,
2009).

(WSP, 2007)

Web Service Policy specification. *W3C*. (Online) Available at:
<http://www.w3.org/TR/ws-policy/> (Diciembre, (Diciembre, 2009).

(WSRF, 2006)

Web service Resource Framework specification. *OASIS*. (Online) Available at:
http://www.oasis-open.org/committees/tc_home.php?wg_abbrev=wsrf
(Diciembre, 2009).

(WSRT, 2008)

Web Service Resource Transfer specification. *W3C*. (Online) Available at:
<http://www.w3.org/Submission/WSRT/> (Diciembre, 2009).

(WS-R, 2004)

Web Service Reliability specification. *OASIS*. (Online) Available at:
[http://docs.oasis-open.org/wsrn/ws-reliability/v1.1/wsrn-ws_reliability-1.1-spec-
os.pdf](http://docs.oasis-open.org/wsrn/ws-reliability/v1.1/wsrn-ws_reliability-1.1-spec-os.pdf) (Diciembre, 2009).

(WS-RM, 2007)

Web Service Reliable Messaging specification. *OASIS*. (Online) Available at:
<http://docs.oasis-open.org/ws-rx/wsrn/200702/wsrn-1.2-spec-os.pdf> (Diciembre,
2009).

(WSS4J, 2010)

Web Service Security for Java. *Apache Group*. (Online) Available at:
<http://ws.apache.org/wss4j/> (Enero, 2010).

(WSSC, 2007)

Web Service Secure Conversation specification. *OASIS*. (Online) Available at:
[http://docs.oasis-open.org/ws-sx/ws-secureconversation/200512/ws-
secureconversation-1.3-os.html](http://docs.oasis-open.org/ws-sx/ws-secureconversation/200512/ws-secureconversation-1.3-os.html) (Diciembre, 2009).

(WSSP, 2007)

Web Service Security Policy specification. *OASIS*. (Online) Available at:
[http://docs.oasis-open.org/ws-sx/ws-securitypolicy/200702/ws-securitypolicy-1.2-
spec-os.html](http://docs.oasis-open.org/ws-sx/ws-securitypolicy/200702/ws-securitypolicy-1.2-spec-os.html) (Diciembre, 2009).

(WS-Security, 2004)

Web Service Security specification. *OASIS*. (Online) Available at: <http://www.oasis-open.org/committees/download.php/16790/wss-v1.1.1-spec-os-SOAPMessageSecurity.pdf> (Diciembre, 2009).

(WS-Security, 2006a)

User name token profile specification. *OASIS*. (Online) Available at: <http://www.oasis-open.org/committees/download.php/16782/wss-v1.1.1-spec-os-UsernameTokenProfile.pdf> (Diciembre, 2009).

(WS-Security, 2006b)

X509 token profile specification. *OASIS*. (Online) Available at: <http://www.oasis-open.org/committees/download.php/16785/wss-v1.1.1-spec-os-x509TokenProfile.pdf> (Diciembre, 2009).

(WS-Security, 2006c)

SAML token profile specification. *OASIS*. (Online) Available at: <http://www.oasis-open.org/committees/download.php/16768/wss-v1.1.1-spec-os-SAMLTOKENProfile.pdf> (Diciembre, 2009).

(WS-Security, 2006d)

Kerberos token profile specification. *OASIS*. (Online) Available at: <http://www.oasis-open.org/committees/download.php/16788/wss-v1.1.1-spec-os-KerberosTokenProfile.pdf> (Diciembre, 2009).

(WS-SOAPOverUDP, 2004)

Soap Over UDP specification. *OASIS*. (Online) Available at: <http://docs.oasis-open.org/ws-dd/soapoverudp/1.1/pr-01/wsdd-soapoverudp-1.1-spec-pr-01.html> (Diciembre, 2009).

(WST, 2007)

Web Service Trust specification. *OASIS*. (Online) Available at: <http://docs.oasis-open.org/ws-sx/ws-trust/200512/ws-trust-1.3-os.html> (Diciembre, 2009).

(WSTO, 2006)

Web Service Topics specification. *OASIS*. (Online) Available at: http://docs.oasis-open.org/wsn/wsn_ws_topics-1.3-spec-os.pdf (Diciembre, 2009).

(WSTX, 2009)

Web Service Transaction specification. *OASIS*. (Online) Available at: http://www.oasis-open.org/committees/tc_home.php?wg_abbrev=ws-tx (Diciembre, 2009).

(WS-Transfer, 2006)

Web Service Transfer specification. *W3C*. (Online) Available at: <http://www.w3.org/Submission/WS-Transfer> (Diciembre, 2009).

(WS-XACML, 2006)

Web Service eXtensible Access Control Markup Language specification. *OASIS*. (Online) Available at: <http://www.oasis-open.org/committees/download.php/21490/xacml-3.0-profile-webservices-spec-v1.0-wd-8-en.pdf> (Diciembre, 2009).

(XOP, 2005)

XML-binary Optimized Packaging specification. *W3C*. (Online) Available at: <http://www.w3.org/TR/xop10> (Diciembre, 2009).

(XPDL, 2001)

XML Process Definition Language. (Online) Available at: <http://www.xpdl.org/> (Diciembre, 2009).

(XPORT, 2010)

Lantronix. Embedded Device Servers - XPort®. (Online) Available at: <http://www.lantronix.com/device-networking/embedded-device-servers/xport.html> (Febrero, 2010).

(Younghwan *et al.*, 2005)

Younghwan, C. Kwangsoo, K. & Cheolhan, K. "A design chain collaboration framework using reference models." *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 26 (1) pp. 183-190. July, 2005.

(Zhou *et al.*, 2009)

Zhou, J., Zhang, D., Arogeti, S.A., Luo, M., Wang, D.W. & Zhong, Z. "iDiagnosis & Prognosis - An intelligent platform for complex manufacturing." *In Proceedings of the IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, pp. 405-410, Julio 14-17, Singapore, 2009.