

Tesis doctoral

Arquitectura de un sistema C4ISR para
pequeñas unidades

Autor: Israel Pérez Llopis

Director: Dr. D. Manuel Esteve Domingo

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	13
1.1 Introducción.....	13
1.2 Objetivos	15
2. ESTADO DEL ARTE	19
2. 1 Sistemas de Mando y Control.....	19
2.1.1 Introducción. El Mando y control: antecedentes.	19
2.2 Modelos teóricos de Mando y control.....	23
2.3 Nuevos modelos de mando y control. Network Centric Warfare.....	32
2.4 Arquitecturas y frameworks para mando y control.....	54
2.5 Sistemas para pequeñas unidades.	56
2.5.1 sistemas de seguimiento del desembarcado	57
2.5.2 Sistemas Friendly Force Tracking (FFT).....	59
2.5.3 Sistemas BattleField Management System (BMS).....	60
3. COMPONENTES TECNOLÓGICOS DE UN C4ISR.....	65
3.1 Sistemas de Información Geográfica y Geolocalización.....	65
3.1.1 Sistemas de Información Geográfica	65
3.1.2 Sistemas de localización	68
3.2 Sistemas de Tiempo Real	72
3.3 Codificación de video	76
3.4 Sistemas de comunicaciones en entornos tácticos.....	78
3.4.1 Comunicaciones tácticas.....	78
3.4.1.1 Comunicaciones HF	78
3.4.1.2 Comunicaciones VHF	79
3.4.1.3 Comunicaciones UHF	80
3.4.1.4 Comunicaciones satélite.....	80
3.4.2 Comunicaciones civiles	81
3.4.2.1 Wireless lan 802.11	81
3.4.2.2 Bluetooth.....	83
3.4.2.3 WiMAX	84
3.5 Replicación de la información en entornos tácticos.....	86
3.6 Interoperabilidad en sistemas de mando y control.....	90
3.6.1 Compresión en entornos tácticos. Compresión NFFI	93
3.7 Arquitecturas distribuidas orientadas a servicio y publish-subscribe.	95
3.7.1 Taxonomía	95
3.7.2 arquitecturas Publish/subscribe.....	97
3.7.3 arquitecturas Event-driven.....	100

4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ARQUITECTURA DE MANDO Y CONTROL PARA PEQUEÑAS UNIDADES.....	103
4.1 Introducción.....	103
4.2 Arquitectura global propuesta	106
4.2.1 Arquitectura de red	107
3.2.2 Arquitectura Software.....	112
4.3 Modelo de datos.....	118
4.4 Sistema desembarcado	121
4.4.1 Implementación basada en Single Board Computer (SBC).....	121
4.4.1.1 Descripción global	121
4.4.1.2 Componentes de la arquitectura propuesta.....	125
4.4.1.2.1 Sistemas embebidos utilizados.....	125
4.3.1.2.2 Sensores	128
4.3.1.2.2.1 Biosensores: Electrocardiograma y temperatura	128
4.3.1.2.2.2 GPS	130
4.3.1.2.2.3 Sensores de vídeo	130
4.3.1.2.2.3 Sistema de Información Geográfica (SIG)	132
4.3.1.3 Replicación de la información.	133
4.4.2 Implementación basada en radios personales MESH.	134
4.4.3 Implementación basada en PDA.....	136
4.5 Sistema de seguimiento de fuerzas propias	139
4.5.1 Arquitectura y descripción general	139
4.5.2 Interfaz de usuario y aplicación	147
4.5.3 Esquemas de replicación de datos en el sistema de seguimiento de fuerzas propias	149
4.6 Interoperabilidad a nivel táctico	159
4.6.1 Interoperabilidad vertical. Conexión con el COE	159
4.6.2 Interoperabilidad horizontal. Estándar NFFI.	160
4.6.2.1 Compresión NFFI	167
4.7 Aspectos de tiempo real.....	174
4.7.1 Evaluación previa	174
4.7.2 Solución implementada	181
4.7.2.1 Caso de la configuración desembarcada	181
4.7.2.2 Caso de la configuración vehicular	183
5. VALIDACIÓN DE LA ARQUITECTURA.....	186
5.1 Introducción.....	186
5.2 Pruebas llevadas a cabo	188
5.2.1 Demostración del sistema SIMACOP en el ejercicio CWID nacional 2006.	188
5.2.2 pruebas UME 2007 y Academia de Infantería de Toledo de la versión basada en radios personales MESH.	194
5.2.3 Pruebas CWID Internacional 2007.....	198
5.2.4 Integración del sistema SIMACOP en el demostrador del proyecto europeo MARIUS	201
5.2.5 Pruebas JCISyAT Marines Abril 2008	206
5.2.6 Pruebas maniobras Chinchilla Mayo 2008	211
5.2.7 Proyecto Europeo CITRINE.....	213
5.2.8 Pruebas CWID internacional, Lillehammer, Junio de 2008	215
5.2.9 Pruebas EPCIS Septiembre 2008.....	218
5.2.10 Integración del sistema con Unmanned aerial Vehicles (UAV).	221
5.2.11 Conclusiones de la validación.....	223

6. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	225
6.1 Conclusiones.....	225
6.2 Trabajo futuro	228
7. REFERENCIAS.....	230

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Bucle OODA simple	23
Figura 2: Bucle OODA completo	24
Figura 3: Modelo de SA según Endsley	27
Figura 4: Modelo interaccionista de Endler-Mischel	29
Figura 5: Esquema de mando y control Network Centric Warfare	32
Figura 6: Calidad del mando y control	38
Figura 7: Dominios de mando y control	39
Figura 8: Elaboración de conocimiento en cada dominio	40
Figura 9: Comprensión de la situación	40
Figura 10: Generación de efectos en el dominio físico	41
Figura 11: Conciencia compartida	41
Figura 12: Colaboración y sincronización	42
Figura 13: Dominios de NCW y su interrelación	42
Figura 14: Situación de información	44
Figura 15: Conflicto simétrico: BLUE tiene mejor situación de información	44
Figura 16: Conflicto asimétrico: BLUE mantiene su posición de información pero RED tiene mejor “situación” porque necesita mucha menos información que BLUE	45
Figura 17: C2 clásico vs. C2 ágil. Dimensiones: centralización de los derechos de decisión, capacidad de la interacción y distribución de la información	47
Figura 18: C2 clásico vs. C2 ágil. Dimensiones: familiaridad, velocidad de cambio, necesidades de información	48
Figura 19: C2 centralizado vs. C2 descentralizado. Dimensiones: familiaridad, dinamismo de las situaciones, fortaleza de la posición de información	48
Figura 20: Framework C4ISR	55
Figura 21: Taxonomía de los sistemas de mando y control de pequeña unidad.	57
Figura 22: NFFI SIP3 modo Pull	92
Figura 23: NFFI SIP3 modo suscripción	92
Figura 24: Arquitectura LTIS	93
Figura 25: Modelo Orientado a mensajes	95
Figura 26: Modelo orientado a servicio	96
Figura 27: Modelo Orientado a recursos	96
Figura 28: Modelo orientado a las políticas de operación	97
Figura 29: Arquitectura global propuesta	107
Figura 30: Arquitectura global con inclusión de redes de sensores	109
Figura 31: Distintas subredes constituyentes	110
Figura 32: Arquitectura software propuesta	114
Figura 33: Integración de sensores en la arquitectura	117

Figura 34: Esquema del modelo de datos en la versión militar	119
Figura 35: Esquema del modelo de datos en la versión civil	119
Figura 36: Esquema de las tablas utilizadas	120
Figura 37: Solución basada en SBC	122
Figura 38: Arquitectura software y flujos implicados	123
Figura 39: Distintos niveles de la aplicación desarrollada	124
Figura 40: Solución SBC con cámara	127
Figura 41: Esquema del funcionamiento software del ECG	129
Figura 42: Esquema de funcionamiento del software de GPS	130
Figura 43: Esquema de funcionamiento del software de vídeo	131
Figura 44: Esquema del funcionamiento de la aplicación cartográfica	132
Figura 45: Modos de funcionamiento autosincronizado (izquierda) y jerárquico (derecha)	133
Figura 46: Esquema de red con red mallada	134
Figura 47: Arquitectura del sistema con PDA desembarcadas	136
Figura 48: Aplicación SIMACOP en funcionamiento en PDA	137
Figura 49: Arquitectura orgánica e inter-nodo del sistema (Ejemplo)	140
Figura 50: Arquitectura general de la solución vehicular	143
Figura 51: Arquitectura software intra-nodo	145
Figura 52: Interfaz principal del GUI	147
Figura 53: PR4G IPMUX 2 estaciones 10 bytes PDU	149
Figura 54: PR4G IPMUX 2 estaciones 50 bytes PDU	150
Figura 55: PR4G IPMUX 2 estaciones 100 bytes PDU	150
Figura 56: PR4G IPMUX 2 estaciones 500 bytes PDU	151
Figura 57: PR4G IPMUX N estaciones 10 bytes PDU	152
Figura 58: PR4G IPMUX N estaciones 50 bytes PDU	152
Figura 59: PR4G IPMUX N estaciones 100 bytes PDU	153
Figura 60: PR4G IPMUX N estaciones 500 bytes PDU	153
Figura 61: Ancho de banda experimentado (1 transmisión en la malla)	154
Figura 62: Ancho de banda experimentado (varias transmisiones en la malla)	155
Figura 63: Limitación de las comunicaciones y ‘clusterización’ por niveles jerárquicos en la operativa	157
Figura 64: Comunicación entre nodos adyacentes jerárquicamente	158
Figura 65: Interoperabilidad vertical del sistema SIMACOP	159
Figura 66: Campo positionalData	161
Figura 67: Campo identificationData	162
Figura 68: Campo operationalStatusData	162
Figura 69: Campo deviceSpecificData	163
Figura 70: Campo detailData	163

Figura 71: Mensaje NFFI	164
Figura 72: Comunicación NFFI	165
Figura 73: Tasa de compresión para el conjunto de muestras MIN	168
Figura 74: Resultados de compresión para la muestra MIN	169
Figura 75: Tasa de compresión para el conjunto de muestras MED	170
Figura 76: Resultados de compresión para la muestra MED	170
Figura 77: Tasa de compresión para el conjunto de muestras MAX	171
Figura 78: Resultados de compresión para la muestra MED	172
Figura 79: Resultados de compresión para los tres conjuntos, MIN, MED y MAX	172
Figura 80: Esquema de funcionamiento de los sistemas Linux de tiempo real	175
Figura 81: TX datos GPS baja tasa, TR vs. NRT	176
Figura 82: TX datos GPS+ biomed (tasa media), TR vs. NRT	177
Figura 83: TX datos GPS+ biomed (tasa alta), TR vs. NRT	178
Figura 84: TX datos vídeo (tasa media), TR vs. NRT	179
Figura 85: TX datos vídeo (tasa alta), TR vs. NRT	180
Figura 86: Colas de prioridad solución SBC	181
Figura 87: Colas de prioridad solución mallada	182
Figura 88: Capa de adaptación de flujos	184
Figura 89: Elementos integrantes del demostrador	188
Figura 90: Esquema de la demostración MODO AUTOSINCRONIZADO	189
Figura 91: Esquema de la demostración MODO JERARQUICO	189
Figura 92: Equipamiento de unidad individual	190
Figura 93: Vehículo de comunicaciones Rioja	190
Figura 94: Puesto de mando y control de nivel de secciones (izquierda) y segundo nivel de sección/pelotones (derecha)	191
Figura 95: Vídeo de alta calidad en los puestos de mando	192
Figura 96: Esquema de las pruebas llevadas a cabo en la UME	194
Figura 97: Aspecto del HQ de la UME, denominado JOC, con la aplicación SIMACOP en funcionamiento	195
Figura 98: Aplicación SIMACOP mostrando la posición y el vídeo en vivo	195
Figura 99: Aplicación SIMACOP junto con otras en el JOC	196
Figura 100: Sistema completo con cámara y radio Spearnet	196
Figura 101: Vehículo de comunicaciones Mérida con enlace satélite	197
Figura 102: Interoperabilidad NFFI y conexión a SIMACET-COE	198
Figura 103: Arquitectura general del proyecto MARIUS	201
Figura 104: Escenario de pruebas	202
Figura 105: Cámara en el casco ignífugo	203
Figura 106: Detalle del SBC en el equipamiento de los bomberos	203

Figura 107: Consolas del puesto de mando una vez desembarcadas	204
Figura 108: Escenario de la demostración	204
Figura 109: Helicóptero con sistema MARIUS aerotransportado	205
Figura 110: UAV con cámara para la inspección de túneles	205
Figura 111: Exteriores vehículo VECA	205
Figura 112: Interior vehículo VECA	205
Figura 113: Esquema de mallas para la configuración completa de VHF	206
Figura 114: Escenario satélite completo	
Figura 115: Escenario completo	209
Figura 116: Vehículos Aníbal con antenas para PR4G V3	209
Figura 117: Aplicación en videowall	210
Figura 118: Despliegue completo de Vehículos Aníbal implicados	210
Figura 119: Vehículo de comunicaciones Mercurio con antena NVIS (Near Vertical Incident Skywave) para medios radio HF	210
Figura 120: Vehículos de caballería con vehículos ligeros de transmisiones empotrados	211
Figura 121: Sustitución del sistema de mando y control ‘de pared’ por uno CIS	212
Figura 122: Arquitectura general del proyecto CITRINE	213
Figura 123: Pruebas BFS-A-NC3A sobre SIP3 en CWID 2008	215
Figura 124: ORBAT del escenario CWID 2008	216
Figura 125: Operaciones del escenario CWID 2008, día 5	216
Figura 126: Arquitectura Global llevada a cabo en las EPCIS	218
Figura 127: Arquitectura de video	219
Figura 128: Captura de la integración de video	220
Figura 129: Captura de la integración de video ampliado y con GIS sinóptico	220
Figura 130: Esquema de la prueba con UAV	221
Figura 131: Captura de la aplicación con vídeo del UAV	222

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparativa de form-factors en PCs embebidos	126
Tabla 2: Características del SBC utilizado	127
Tabla 3: Footprint para distintas soluciones de SO	128
Tabla 4: Características del hardware utilizado (PDA)	137
Tabla 5: Requisitos hardware en Sistema de Seguimiento de Fuerzas Propias	146
Tabla 6: Estadísticos para el retardo con 2 estaciones PR4G	151
Tabla 7: Estadísticos para el retardo con N estaciones PR4G	154
Tabla 8: Estadísticos para la tasa de compresión en el conjunto de muestras MIN	168
Tabla 9: Estadísticos para la tasa de compresión en el conjunto de muestras MED	169
Tabla 10: Estadísticos para la tasa de compresión en el conjunto de muestras MAX	171
Tabla 11: Estadísticos para el prototipo NRT datos GPS baja tasa	176
Tabla 12: Estadísticos para el prototipo RT datos GPS baja tasa	176
Tabla 13: Estadísticos para el prototipo NRT datos GPS + biomed tasa media	177
Tabla 14: Estadísticos para el prototipo RT datos GPS + biomed tasa media	177
Tabla 15: Estadísticos para el prototipo NRT datos GPS + biomed tasa alta	178
Tabla 16: Estadísticos para el prototipo RT datos GPS + biomed tasa alta	178
Tabla 17: Estadísticos para el prototipo NRT y RT TX vídeo tasa media	179
Tabla 18: Estadísticos para el prototipo NRT y RT TX vídeo tasa alta	180
Tabla 19: Colas de prioridad en la solución desembarcada con SBC	182
Tabla 20: Colas de prioridad en la solución desembarcada integrada en las radios ITT	183
Tabla 21: Resumen de la evaluación de las pruebas en las que ha participado SIMACOP	199
Tabla 22: Lista de medidas de desarrollo o Measures of Performance (MoP)	200

Debo agradecer a muchas personas su ayuda y apoyo a lo largo de los años que ha durado la realización de este trabajo de tesis.

En primer lugar, de forma especial, me gustaría agradecer al catedrático Manuel Esteve su confianza y apoyo, todo el trabajo y esfuerzo que ha dedicado en la dirección y supervisión de esta tesis doctoral, así como sus siempre acertados consejos y orientaciones. Debe ser muy difícil encontrar a un director de tesis con su calidad humana y su excelencia docente e investigadora. Sinceramente, ha sido un privilegio el trabajar junto a él.

Quiero agradecer, a continuación, al profesor Carlos Palau y al resto de compañeros del grupo de investigación de Sistemas de Tiempo Real Distribuido, su inestimable colaboración y ayuda durante todos estos años. Luis, Javier, Benjamín, Fede, Carlos, Alfonso, Ximo y Flavio han contribuido enormemente al desarrollo del presente trabajo y, sin su aportación, éste no se hubiera llevado a cabo.

También quiero agradecer a todas las personas, y son muchas, con los que he tenido el gusto de trabajar en los diversos proyectos, demostraciones y periplos a los que me ha conducido el desarrollo de la presente tesis.

A mis padres y mis abuelos, a familia en general, por todo lo que me han enseñado y dado.

Y finalmente a Anna. Sin ella, amable lector, sin su amor y su apoyo, no estaría ahora leyendo estas líneas y nada, no sólo este trabajo, tendría sentido.

En fin, como se puede ver, éste acaba siendo el trabajo de mucha gente. Muchas gracias a todos.

Capítulo 1

Introducción y Objetivos

1. Introducción y Objetivos

1.1 Introducción

El mando y control se puede definir como [Off95] “el ejercicio de la autoridad y la dirección llevado a cabo por un comandante convenientemente elegido sobre un conjunto de recursos humanos jerárquicamente organizados y técnicos para llevar a cabo una misión. Las funciones de mando y control son ejecutadas por una composición de personal, equipamiento, comunicaciones, instalaciones y procedimientos empleados por un comandante en la planificación, dirección, coordinación y control de fuerzas y recursos para la consecución de una misión". Así, el mando y control se refiere tanto a los procesos como a los sistemas que permiten llevar a cabo una misión. En este trabajo nos centraremos en la parte técnica, es decir, en los segundos, pero sin dejar de lado los procesos, procedimientos, aspectos cognitivos, de organización, etcétera que determinan de manera fundamental los aspectos técnicos.

El mando y control ha ido evolucionando a la par que, y de manera imbricada con, los avances técnicos, desde los albores de la humanidad hasta nuestros días, de forma que dichos avances condicionan nuevas maneras de enfocar el mando y control y los procedimientos asociados. Y a su vez, las necesidades de mando y control generan nuevas soluciones técnicas en los ámbitos tecnológicos relacionados.

Los sistemas C4ISR (Command Control, Computers and Communications Information Surveillance and Reconnaissance) engloban un amplio número de arquitecturas y sistemas informáticos y de comunicaciones. Su principal finalidad, tanto en aplicaciones civiles como militares, es la obtener información sobre el estado del teatro de operaciones para entregársela, convenientemente formateada, a las personas al mando de una operación de forma que se construyan una adecuada visión del mismo que les permita tomar las decisiones correctas. Por otra parte, deben servir de plataforma de comunicaciones para transmitir dichas órdenes y cualquier otra información que se estime oportuna.

Podemos señalar múltiples aplicaciones y arquitecturas de mando y control, tanto en un ámbito civil como militar, destacando áreas como operaciones militares, gestión de tráfico aéreo, gestión de operaciones espaciales, sistemas de detección y actuación ante catástrofes naturales, operaciones ante emergencias como incendios, accidentes de tráfico, salvamentos, inundaciones, e inclusive la aplicación de arquitecturas y conceptos relacionados en el mundo de la empresa y la estructura de organizaciones.

Todos ellos tienen varios denominadores comunes: se requiere construir una imagen veraz y precisa de lo que está ocurriendo en una determinada zona y en tiempo real o, mejor dicho, en tiempo útil respecto a la escala temporal de los eventos que se están produciendo. Este es uno de los elementos fundamentales del mando y control, el permitir a las personas al mando hacerse una visión certera de la situación, de lo que está ocurriendo en el teatro de operaciones. Este concepto se verá con más detalle en puntos posteriores y se denomina en la literatura “situational awareness”. Del mismo modo, el sistema debe permitir que las personas a cargo de los puestos de mando y control, puedan enviar sus órdenes a los subordinados y operativos, también en tiempo útil. Además, las situaciones a tratar son críticas pues un fallo del sistema puede acarrear pérdida de vidas humanas. En el caso de sistemas C4ISR aplicados a las organizaciones las pérdidas se cifrarían en cantidades económicas y puestos de trabajo.

A nivel técnico se pueden esquematizar los sistemas C4ISR como un conjunto de N sensores de distinta naturaleza, ubicación espacial y requerimientos de procesamiento de sus señales generadas, M actuadores, en principio humanos aunque en muchas arquitecturas se pueden encontrar servosistemas y sistemas robotizados y O puestos de mando y control, jerárquicamente organizados(hay que señalar que las nuevas tendencias en mando y control apuntan en una línea de mando distribuido) que procesan la información del entorno y toman decisiones en consecuencia. Interconectándolos a todos, y como elemento fundamental, se encuentra una arquitectura de red.

La presente tesis doctoral se enmarca en el desarrollo y evolución práctica de los sistemas C4ISR, en particular los relativos a pequeñas unidades. Por pequeña unidad se entiende aquella que es de orden jerárquico menor o igual al de batallón en el ámbito militar o a una unidad autónoma de intervención en el ámbito de las emergencias.

El tipo de operaciones a desarrollar hoy en día, tanto en un ámbito civil como en uno militar, como por ejemplo operaciones con fuerzas asimétricas, operaciones en entornos urbanos, operaciones de mantenimiento de paz, intervenciones en catástrofes naturales, operaciones antiterroristas, etcétera, constituyen intervenciones novedosas respecto a las clásicas, con otros tipos de agentes, ritmos de intervención y resultados esperados que condicionan nuevos enfoques y soluciones del mando y control.

Éstas han provocado, en los últimos años, un replanteamiento de los procedimientos y tecnologías asociadas al mando y control, lo que se ha llegado a denominar como '*Revolution in the military affairs*' que ha conducido a una nueva corriente de trabajos teóricos y aplicados auspiciados el Command and Control Research Programme del Departamento de Defensa Estadounidense, entre otros. Toda esta corriente de trabajos ha conducido a una nueva aproximación del mando y control denominada Network Centric Warfare (NCW) [Alb99], así como la introducción de conceptos asociados y necesarios como autosincronización[Ceb98], agilidad[Atk05], *power to the edge* [Alb03], etcétera. Aunque se verán con mucho más detalle en el capítulo de estado del arte, cabe destacar que NCW se refiere a la doctrina que intenta trasladar la superioridad en información en superioridad de combate vía la interconexión robusta y reconfigurable de fuerzas propias muy bien informadas y potencialmente dispersas en un marco geográfico [Alb99] [Alb00]. Debido a la aplicación de este planteamiento de NCW, en la literatura se considera que se debe experimentar un gran aumento de agilidad en el curso de las operaciones, entendida ésta como, no sólo la rapidez en el tempo de las mismas, sino también en la flexibilidad de una organización para llevarlas a cabo y adaptarse al entorno operativo y su dinámica. Dos mecanismos muy asociados y derivados de NCW que posibilitarán esa agilidad son la autosincronización y el elevado grado de distribución o *power-to-the-edge*. Por autosincronización entendemos, como se define en [Est06], "la sincronización de dos o más fuerzas o equipos de combate o intervención, del mismo nivel, en ausencia de control por parte de un nivel superior". *Power to the edge* es una doctrina que facilita dicha autosincronización al permitir, en grado extremo, la independencia y la toma de decisiones de las unidades de bajo nivel implicadas en una misión. En concreto a partir del concepto de NCW, *power to the edge* articula un mayor grado de distribución y descentralización del mando en una organización (incluso hasta llegar a situaciones de jerarquía cuasi plana) asignando un mayor grado de mando a las hojas de la jerarquía como vehículo para otorgar a las organizaciones un mayor grado de agilidad que redunde finalmente en una mejora considerable en la efectividad de la misión. Hay que destacar un punto crucial que se resalta en los trabajos anteriormente señalados, la efectividad es función de la agilidad, y más aun en operaciones actuales, cuando la familiaridad es baja y la velocidad de cambio y las necesidades de información son elevadas.

Dichos conceptos buscan una explotación eficiente de los medios técnicos existentes para conseguir una mejora en los procedimientos y métodos de actuación existentes, fomentando la autonomía de las unidades implicadas, su toma de decisiones ágil y su intervención eficaz para permitir un mayor grado de efectividad en el cumplimiento de las misiones a llevar a cabo. De esta manera surgirá el concepto de *Effects Based Operation* (EBO) [Smi03], consistente en llevar a cabo operaciones que, no se limiten a destruir una posición concreta o tomar una determinada cota, sino que acaben por provocar un estado determinado en la situación global del enemigo.

Cabe destacar que los nuevos escenarios de operaciones, ya sean civiles o militares, precisan de dos elementos anteriormente no considerados en la teoría y en la praxis de mando y control. Por un lado se precisa información de niveles inferiores (de batallón para abajo) a los que tradicionalmente se ha requerido. Además, dicha información proveniente de niveles inferiores, debe ser obtenida en tiempo real, o al menos en “tiempo útil” (antes del deadline que invalide dicha información). Por otro lado se precisan otros tipos de información adicionales (multimedia y datos fusionados, entre otros) a los que tradicionalmente se han utilizado. Existen los medios tecnológicos para que las personas al mando de una operación, ya sea civil o militar, puedan acceder en tiempo útil a flujos multimedia (video, audio, etcétera) que les permita ‘ver con sus propios ojos’ lo que está ocurriendo en el teatro de operaciones. El campo de desarrollo está totalmente abierto siendo uno de los más prometedores en el ámbito de los sistemas de tiempo real.

1.2 Objetivos

La presente tesis doctoral se centra en identificar las necesidades existentes en mando y control a nivel táctico, tanto en la vertiente civil como en la militar, y plantear una arquitectura global para sistemas C4ISR que permita diseñar, desarrollar e implementar una solución de sistema de mando y control de pequeñas unidades (nivel de batallón e inferiores) para mejorar la conciencia situacional, tanto individual como compartida, de los comandantes en esos niveles. Se buscará el planteamiento de arquitecturas y el desarrollo de sistemas que implementen los novedosos conceptos de mando y control, previamente citados, para la consecución de los objetivos anteriormente señalados, siguiendo la filosofía COTS (Commercial Off-The Shelf), enfatizando el uso de estándares en todos sus componentes y una aproximación OSS (Open Source Software) en el desarrollo de componentes software, e integrando flujos multimedia como una de las principales aportaciones.

Para conseguir este objetivo global se deberán alcanzar los siguientes objetivos parciales:

- Realizar un exhaustivo y profundo análisis del estado del arte acerca de los sistemas de mando y control, desde sus comienzos hasta las últimas propuestas. Esto nos conducirá a investigar, estudiar y evaluar las distintas arquitecturas y aproximaciones existentes en el área de sistemas C4ISR de pequeña unidad, área a la que se circunscribe la presente tesis. Por otra parte, al ser los sistemas C4ISR complejos elementos que integran múltiples módulos tecnológicos, se deberá llevar a cabo un profundo y extenso estado del arte de los componentes tecnológicos de los sistemas C4ISR. Estos incluyen Sistemas de Información Geográfica (SIG) y geolocalización,

sistemas de tiempo real, sistemas de comunicaciones tácticos, sistemas de codificación y streaming de vídeo, sistemas de replicación en entornos tácticos, sistemas y protocolos de interoperabilidad y arquitecturas distribuidas orientadas a servicio, entre otros.

- Proponer una arquitectura global para sistemas de mando y control de pequeñas unidades. Dicha arquitectura se debe descomponer en una arquitectura de red y una arquitectura software como módulos constituyentes fundamentales.
- Diseñar y desarrollar implementaciones prototipo de la arquitectura propuesta. Dichos sistemas, al ser orientados a un entorno táctico, deberán probarse en entornos reales desde las primeras fases del desarrollo, de forma que estén claramente integrados en los entornos de uso. Aunque en su momento no era el objetivo de esta tesis hay que señalar que algunos de los prototipos desarrollados han llegado a convertirse en sistemas finales, actualmente en uso por parte del Ejército de Tierra.
- Validar los prototipos de los distintos sistemas de mando y control de pequeñas unidades desarrollados, y por lo tanto la arquitectura propuesta. Para ello, desde el grupo de investigación se considera que la mejor manera posible es desarrollando e implementando sistemas y probándolos en las condiciones de uso más reales que se puedan dar, esto es en entornos y escenarios de uso de los potenciales usuarios finales de un sistema de mando y control. Además, se considera que dicha validación debería llevarse a cabo por organismos e instituciones que certifiquen la validez de los sistemas desarrollados y la arquitectura propuesta que implementan, tanto nacionales como internacionales. Por último los aspectos de interoperabilidad deben probarse con sistemas de otras agencias, tanto nacionales como internacionales.
- Con las conclusiones a las que se llegue después del trabajo realizado se intentará aportar mejoras a los sistemas de mando y control, tanto en su concepción como en su implementación, que sirvan para un su aplicación ya sea en un ámbito militar o en un ámbito de gestión de crisis civiles. Una de las motivaciones de la presente tesis es la de, no sólo desarrollar una arquitectura para validar toda una serie de conceptos de mando y control, sino que dicha arquitectura sirva como plataforma para el desarrollo de nuevos conceptos.

CAPÍTULO 2

ESTADO DEL ARTE

2. Estado del arte

2.1 Sistemas de Mando y Control

2.1.1 Introducción. El Mando y control: antecedentes.

El mando y control ha estado presente en la ciencia o arte militar desde los primeros trabajos teóricos de la misma como elemento fundamental. En muchos de los textos antiguos y clásicos se destaca la importancia y lo consustancial de ambas disciplinas en la ciencia militar. Podemos señalar, entre otros textos importantes donde se trata sobre el tema: el arte de la guerra de Sun Tzu[TZU] del siglo IV A.C, De Bello Gallico y De Bello Civili de Cayo Julio César[CES1][CES2] del siglo I A.C, Strategemata de Sexto Julio Frontino[FRON] del siglo I D.C, de Re militari de Flavio Vegecio Renato[REN] del siglo IV D.C, Tratado de las cosas Militares del Capitán Salazar, siglo XVI[DSA], Theórica y práctica de la guerra de Bernardino de Mendoza[MEN] y el muy conocido De la Guerra de Von Clausewitz[CLAU]. Todos ellos estudian gran parte de los aspectos de la temática militar y acaban dando su visión sobre lo que son y deben ser el mando y control.

Así, es evidente que tanto la función de mando como la de control han sido estudiadas desde los primeros tiempos, con la salvedad de que ambas se han visto condicionadas por los medios tecnológicos existentes en cada momento.

Sin embargo, es a partir de la irrupción de tecnologías de comunicaciones y de computación cuando cambia la perspectiva experimentándose un avance espectacular debido a la posibilidad de tener comunicaciones remotas, la transmisión de datos y la transformación y elaboración de conocimiento a partir de los mismos.

En las batallas antiguas e incluso en épocas no muy lejanas, el mando y control se supeditaba a una persona o grupo de personas ubicadas en la misma localización en que se producían los eventos de interés, que les permitía tener un control visual de todo el escenario de operaciones. Como mecanismos tecnológicos para ejercer el mando se disponía de cuernos, tambores, banderas y correos a caballo y el control se llevaba a cabo por inspección visual de los comandantes así como correos a caballo que con una cierta velocidad podían narrar detalles particulares e inteligencia.

Es de destacar pues como en tiempos donde se carecía de medios tecnológicos como los actuales el mando y control se basaba en subordinados capaces y, fundamentalmente, de toda confianza. Como ejemplo, en el ejército de Alejandro Magno se disponía de jóvenes oficiales de toda confianza del general denominados Somatophylaxes que actuaban como ayudas de campo/heraldos siendo la voz y los ojos de Alejandro. Esta misma aproximación también fue utilizada en el ejército romano como por ejemplo en el caso de Escipión el Africano (237-183 A.C) o de Julio César (100-43 A.C). Estos oficiales, que actuaban como observadores y correos de toda confianza eran denominados contubernales. Es de destacar que en los tres casos citados, la élite de estos oficiales acababa constituyendo un grupo asesor y de consulta del general de forma que se les puede, no sólo considerar sensores y/o actuadores, sino también elementos de cómputo pues elaboraban predicciones, estrategias, planes, etc. Un ejemplo medieval de este tipo de mando y control lo encontramos en los oficiales de Eduardo III en Crécy y Poitiers [Amt01].

El advenimiento de las armas de fuego extendió el ámbito del campo de batalla en todas las dimensiones (espacial, temporal, de información, etc.) requiriéndose nuevos procedimientos para ejercer el mando y llevar a cabo el control. Así, Federico el Grande amplió el esquema preexistente a una jerarquía de oficiales y ayudas de campo que ejercían el mando y control jerárquicamente hasta acabar recibiendo sus órdenes e informándole, pero inevitablemente con un mayor grado de descentralización.

La literatura [Fal08] destaca al primer duque de Marlborough (1650-1722) como el implementador de una de las estrategias más exitosas, hasta la llegada de Napoleón, en ese sentido. La clave de su aproximación fue el ubicarse como punto crítico de toda la estrategia y en una ubicación óptima que facilitase la mayor agilidad en la toma de decisiones. Nuevamente, la utilización de oficiales altamente capacitados y de toda confianza se revelaba como el elemento crítico en la estructura. Como destaca el teórico de la época F.W von Zanthier [Zan1778]: “Entendían cuan importante es transmitir una orden exactamente, estimaban correctamente la situación y eran lo suficientemente emprendedores para garantizar que una oportunidad decisiva no pasase de largo”.

Estos ayudas de campo cobraron todo su peso en los ejércitos de Napoleón y Wellington. Buscando similitud con conceptos actuales, Napoleón revolucionó el mando al establecer un sistema muy estructurado de oficiales a través de los cuales ejercía el mando y control con un claro énfasis en que, en todo momento, se garantizase que la información de mando le estuviera disponible. Aumentó la frecuencia de muestreo todo lo que pudo, tanto en mando como en control, y no sólo fomentó que se le entregase información táctica y operacional sino también estratégica, algo novedoso según algunos autores [Gri91]. Además incidió mucho en contrastar los reportes de unos con los de otros, en general tenía dos caminos paralelos de información, para extraer patrones e informaciones no evidentes pero de claro interés, como por ejemplo información respecto al liderazgo o la moral dentro de una unidad, llevando a cabo una fusión sensorial y un data mining para la extracción de características 'menos estructuradas'.

Como se destaca en [Nap1806] Napoleón refinó las características de estos oficiales de completa confianza respecto a la aproximación de Marlborough con las siguientes características: “No sólo debían ser excelentes oficiales, precisos en sus observaciones y con capacidad para discriminar entre información vital y no vital sino que debían conocer al dedillo la filosofía operacional del emperador, conocer sus intenciones al completo y llegado el caso, ser autónomos y tomar decisiones en consonancia con las intenciones del mando.”

Otro elemento de mando y control que Napoleón primó fue la posibilidad de sortear la cadena de mando saltándose escalones y acceder directamente a los nodos/oficiales que disponían de la información/capacidad de actuación para ganar en agilidad, tal y como se recomienda hoy en día en los trabajos teóricos más en boga y que se verán en puntos posteriores.

Como se ha comentado previamente y se insistirá en puntos posteriores, la confianza y el conocimiento de las intenciones del mando y la previsión de sus reacciones es fundamental. Así, uno de los grandes rivales de Napoleón, Wellington, aplicaba un modelo de mando y control muy similar y se rodeaba e integraba con sus ayudas de campo hasta tal punto que, como se destaca en [Gri91] comentaba que se los llevaría consigo en su jubilación.

En la guerra civil norteamericana los ejércitos unionistas hicieron un uso muy extendido de

las técnicas de mando y control napoleónicas. Sin embargo muchos de los generales confederados, para desesperación del general R.E Lee, hicieron poco uso de la cadena de oficiales de confianza y ayudas de campo limitando muchas veces su capacidad de actuación a ser meros correos, de forma que Lee tuvo que crear durante la guerra una estructura de ese tipo. Lee fue uno de los precursores del moderno concepto de 'power to the edge' [Alb03] que se verá extensamente en puntos posteriores al descentralizar el mando en sus ejércitos.

Las guerras de la segunda mitad del siglo XIX y sobretodo del siglo XX constituyen un cambio radical debido a la implantación extendida de tecnologías de comunicaciones, la ampliación de las zonas de operaciones, las estructuras de los ejércitos y la proliferación de nuevas tecnologías en armas y transportes que aportan muchos más grados de libertad al escenario a tratar. Los ejércitos crecen en tamaño y aparecen nuevos cuerpos muy especializados. Sin embargo es de destacar que pese a la aparición de medios como el telégrafo, debido a su poca fiabilidad y falta de procedimientos para unas comunicaciones seguras, el general prusiano Helmut von Moltke siguió utilizando una red de oficiales de confianza a caballo para la captación de información y la actuación.

Es de destacar como la utilización indiscriminada de la tecnología sin un buen concepto o procedimiento de mando y control puede llevar a estructuras completamente ineficientes. En la primera guerra mundial, la formación de frentes estáticos y la guerra de trincheras condujeron a la constitución de centros de mando de alto nivel justo detrás de las mismas. Equipados con las últimas tecnologías de comunicaciones del momento, pronto asumieron un mando absoluto y centralizado de las operaciones pero contagiado de la rigidez de la estructura de frente que gestionaban. Debido a las características del mismo, los mandos no lo frecuentaban y progresivamente los centros de control se fueron aislando del mismo. Así, en el trabajo de J.F.C Fuller [Ful36] se destaca:

“En la guerra [primera] mundial no había nada más terrorífico que una cadena de hombres empezando por el comandante de un batallón y acabando en un jefe de ejércitos, sentados en sus puestos telefónicos de comunicación, improvisados o establecidos, hablando, hablando, hablando en vez de liderando, liderando, liderando”

Los cuarteles generales sobrecentralizaron las operaciones tácticas y muchos oficiales británicos perdieron su rol de ayudas de confianza con alto grado de libertad y flexibilidad para acabar siendo operadores telegráficos, telefónicos o de radio que retransmitían órdenes o información de inteligencia en un sentido u otro. De esta manera el mando y control, así como la iniciativa y flexibilidad quedaron atascados, conduciendo a desastres continuos con un ejemplo destacado en la batalla del Somme [Gri91]. Así pues, una lección aprendida en esa guerra fue que no se podía confiar el mando y control a la tecnología sino que había que conjugarlo con estructuras operacionales adecuadas y que, esquemas que habían demostrado su utilidad durante siglos como el de la estructura de oficiales de confianza y enlace debían ser mantenidos. Un ejemplo de estas ideas se puede encontrar en un trabajo atribuido a Petain de 1924 [Pet24] y en documentos de doctrina del ejército estadounidense de 1937 [UAR37]. En este último se destaca el papel fundamental de los oficiales de enlace, y de la confianza en el mantenimiento del contacto de los comandantes de alto rango con las situaciones tácticas, todo ello adecuado a las modificaciones que en el teatro de operaciones y su ritmo han introducido las nuevas tecnologías. Otro aspecto que se destaca en este trabajo es el papel que deben tener dichos oficiales en permitir y fomentar los esfuerzos coordinados entre unidades, en la línea del concepto de autosincronización [Alb05] [Alb06] que se verá posteriormente.

En la segunda guerra mundial muchos comandantes de renombre (Montgomery, Patton, Guderian, Rommel, Manteuffel) aplicaron y extendieron estas doctrinas a las nuevas demandas (y nuevas tácticas asociadas) de escenarios altamente dinámicos como los de la 'blitzkrieg'. Quizá el elemento más destacado en ese sentido de la segunda guerra mundial es el uso de la radio como elemento de comunicación entre los distintos comandantes y de medio de comunicación entre los oficiales de enlace y la cadena de confianza. Como destaca el general Guderian en "Achtung Panzer!" [Gud37]: *"Cada carro de combate moderno tiene un receptor de radio, y cada carro de de mando está equipado con un emisor y un receptor. Las unidades de carros tienen ahora garantizado el mando y control"*

También se aplica la idea napoleónica de que la estructura de oficiales de confianza corra paralela a los conductos tradicionales de transmisión de información y órdenes. Ejemplos de ello son las unidades Phantom británicas, las unidades de información de la Whermacht, los servicios SIAM y ATIS de los Estados Unidos. En el caso de los grupos promovidos por Patton y también los promovidos por la Whermacht se fomentaba que las unidades tuvieran independencia en la toma de decisiones. Es de destacar como estos cuerpos, al crecer enormemente en tamaño respecto a la estructura de oficiales existente anteriormente, provocan interferencias, suspicacias y recelos entre las unidades en operación para todos los ejércitos previamente señalados. En el caso de Montgomery, éste siguió las ideas de Wellington en el sentido de tener una estrecha relación con sus oficiales de confianza de forma que estos podían interpretar autónomamente las ideas de aquél favoreciendo la autonomía y la agilidad.

Es curioso destacar un fenómeno que se produce al acabarse la segunda guerra mundial en los ejércitos más importantes y que se señala en la literatura [Yal70]. Una vez desaparece una situación de conflicto extremo y necesidad absoluta y se entra en un periodo de cincuenta años de paz mundial relativa: (las fricciones se solventan, salvo excepciones, en conflictos periféricos en el tercer mundo) van desapareciendo paulatinamente las estructuras de mando y control basadas en oficiales de confianza y enlace. Como se destaca en [Gri91], el único sistema equivalente en una potencia occidental ha sido el empleado en el ejército israelí en las guerras de 1967 y 1973.

2.2 Modelos teóricos de Mando y control

El mando y control, a nivel teórico, se ha definido tradicionalmente mediante herramientas conceptuales de la teoría de control y automatización, en particular como un bucle realimentado. Quizá el primer trabajo en esta línea, aunque no únicamente circunscrito al mando y control, fue el conocido texto Cibernética de Norbert Wiener [Wie48] cuyas ideas tuvieron una rápida aplicación práctica en sistemas de guiado de misiles, como se destaca en [Min00].

Esto puede verse en los primeros trabajos en esta línea como los modelos teóricos desarrollados por Lawson [Law81] que plantea el mando y control como una realimentación con actuación sobre el entorno a partir de la percepción de la situación externa, siendo los operadores los reguladores del mismo y pudiendo ser tanto los actuadores como los sensores operadores humanos o dispositivos integrados en el sistema de mando y control. En este planteamiento se incide especialmente en la naturaleza adaptativa de los sistemas de mando y control a las condiciones del entorno.

En la misma línea han surgido gran número de trabajos que tratan de aproximar el proceso del mando y control como un bucle realimentado de la teoría de control de procesos y sistemas. Cabe destacar el trabajo de T. de Greef [Gre07] que refina el modelo de Lawson aplicándolo a sistemas C2 de la marina. Por otra parte, existen gran número de trabajos que aplican la aproximación de la teoría de control de procesos al C2 pero en otros ámbitos distintos del militar, como pueden ser los sistemas de mando y control para el control aéreo [Hil97], sistemas de mando y control para pilotos civiles [Sca95] [Ina00] así como trabajos [Bay06] en los que se aplica esta aproximación de la teoría de control al C2 para ser utilizada en el ámbito de la empresa.

Otros trabajos destacados en la misma línea son los orientados a mejorar las prestaciones de los pilotos de cazas y su interacción con la aviónica que desembocaron en la definición del bucle OODA (Observe, Orient, Decide and Actuate) por parte J. Boyd, ex-piloto de combate y destacado asesor militar del gobierno norteamericano. Esta aproximación ha constituido todo un paradigma en el ámbito del mando y control y especifica la esencia del mismo como un bucle indefinido en el que se muestrea el entorno (Observe), se construye la visión del teatro de operaciones (Orient), se toman las decisiones oportunas (Decide) y por último se actúa sobre el entorno (Act).

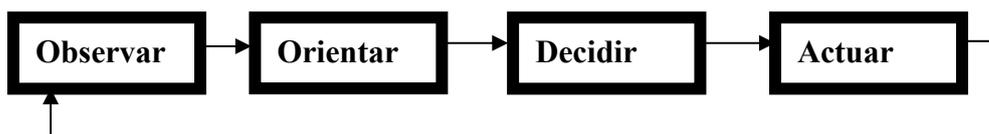


Figura 1: Bucle OODA simple

En la siguiente figura se puede ver el esquema del bucle OODA con todas sus características, tal y como lo planteó Boyd en su trabajo:

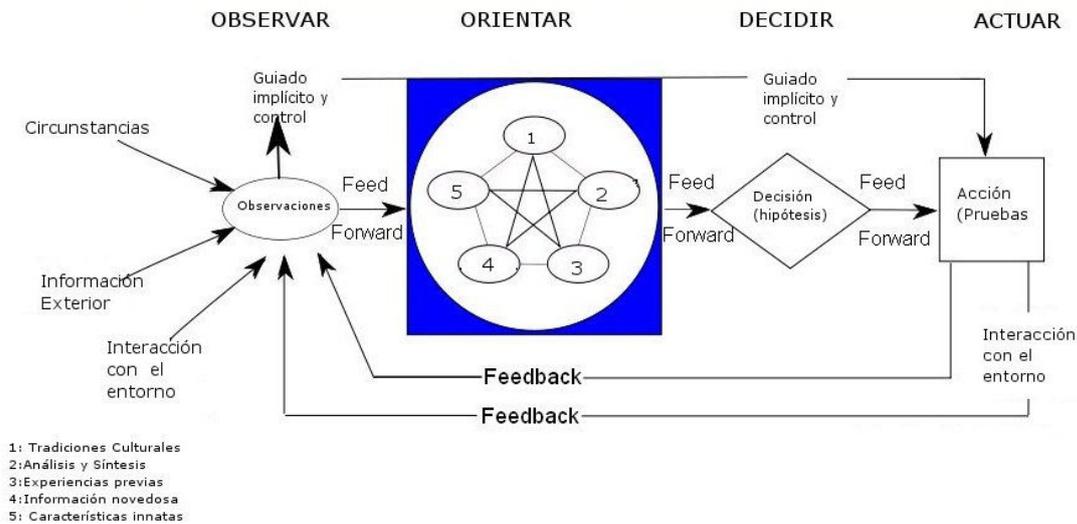


Figura 2: Bucle OODA completo

Boyd pone especial énfasis en como la orientación determina la decisión y la acción y ésta, a su vez, es conformada por el feedback recibido en las observaciones. Por otra parte, como modelo aplicado a situaciones de conflicto, el trabajo de Boyd se extiende en [Boy86] para tener en cuenta el mando y control y los procesos cognitivos del adversario destacando la importancia de ‘poder tomar el control’ sobre el bucle OODA del mismo, básicamente por medio de tomar la iniciativa y cambiar con nuestras acciones la situación más rápido de lo que éste pueda procesar. Se trata de evaluar tanto el entorno como el rival para explotar factores y operaciones que generen cambios rápidos en el entorno e inhiban la capacidad de adaptación del enemigo conduciendo, además, las operaciones a un tempo que nos sea favorable y desfavorable a su bucle OODA.

Boyd [Boy76] investigó también la naturaleza del frente y las características de la interacción de los contendientes a partir de modelos basados en la termodinámica del no equilibrio.

Pese a la importancia que ha tenido el bucle en la literatura de mando y control y en la doctrina de los años 80 y 90 del ejército estadounidense, muchos autores señalan que este modelo presenta una serie de limitaciones a la hora de reflejar la complejidad de los procesos que intenta modelar y ha sido complementado por otras aproximaciones presentes en la literatura, aunque la mayoría de ellas refinan el modelo con las particularidades de escenarios concretos o bien lo extienden con pequeños matices, sin ser ninguno un cambio cualitativo. Cabe destacar el modelo denominado SHOR (Stimulus-Hypothesis-Option-Response) desarrollado por F.G Wohl[Woh81], o el modelo propuesto en [Gra05] basado en el esquema Plan-Do-Check-Act o círculo de Deeming para mejorar la calidad y competitividad en la organización industrial [Dee51][Dee89], el modelo D3A (Decide, Detect, Deliver, Assess) [Ric98] y más recientemente por la ampliación del modelo denominada extended OODA loop[Bre05].

Por otra parte, en los últimos tiempos han surgido aproximaciones del modelo basadas en las nuevas tendencias de la inteligencia artificial y la robótica, fundamentalmente las de la rama de la robótica reactiva, en las que se intenta minimizar la parte de decisión del bucle, buscando que sea la interacción del sistema con el entorno, convenientemente ajustada, la que provea, en parte, dicha inteligencia y toma de decisiones. En última instancia se trata de automatizar la mayor parte de procesos. Este es el bucle Sense-Act (SA) [Bra84] [Bro91] respecto al conocido bucle de la inteligencia artificial Sense-Decide-Act (SDA). Comparativas de ambas aproximaciones se pueden ver en los trabajos de [Pei99] [Mat94] y una reseña de implementaciones en sistemas C4ISR del bucle SA se puede ver en [Mof04].

Un concepto fundamental en el que se basa la teoría de los sistemas de mando y control es el de “percepción de la situación”. El concepto en inglés, idioma en el que se acuña el término, se denomina “situational awareness”. La idea fundamental en todos estos trabajos, y en última instancia de un sistema de mando y control, es conseguir mejorar el situational awareness o conciencia situacional de los comandantes para que puedan tomar las decisiones oportunas.

Acerca de dicho concepto se ha investigado desde los primeros tiempos de la filosofía [PLA] [HER] en tanto que cuestión gnoseológica. Sin embargo, es a partir del siglo XIX cuando las ciencias cognitivas reciben un especial interés. Así, W. James [Jam1892] es uno de los primeros que hace una aproximación al concepto en la línea en la que se entiende actualmente al definir la percepción como una elaboración a partir de lo sensorizado y los conocimientos/modelos mentales previos del sensorizante. James establece las bases de los modelos cognitivos como algo cambiante y en continua interacción con el entorno. Por ejemplo, a principios del siglo XX se llevaron a cabo estudios sobre la percepción, aprendizaje y automatización eficiente de tareas en radiotelegrafistas [Bry1899] en los que se sienta la base de un modelo teórico de *situational awareness*. En los años 30 del siglo XX se llevaron a cabo estudios para ver cómo un correcto entrenamiento reducía el número de accidentes aéreos en la RAF [Bar37] al mejorarse la conciencia situacional. Durante la segunda guerra mundial, Barlett et al. [Bar46] llevaron a cabo estudios para desarrollar cabinas de mando más intuitivas, ergonómicas y optimizadas al ciclo cognitivo de los pilotos en combate al detectar sus limitaciones físicas, fisiológicas y perceptivo-motrices, desarrollando un marco teórico de la conciencia situacional. Cherry [Che53] destaca una dimensión militar de sus investigaciones al estudiar como la conciencia puede ser aumentada y adaptada para mejorar el rendimiento individual y compartido en el campo de batalla.

El concepto de *situational awareness* se define como “la percepción de los elementos del entorno circunscritos a un volumen de espacio y tiempo, la comprensión de su significado relativo a las operaciones en curso y la proyección de su estado en un futuro próximo” [End88a] [End95] [End04]. En el paradigma de M. Endsley, el más ampliamente aceptado, se explicitan tres niveles de *Situational Awareness*:

- En un primer nivel denominado de percepción, *Situational Awareness* implica la percepción de factores críticos en el entorno: su estado, características y dinámicas mediante procesos de seguimiento, reconocimiento y monitorización. En este primer nivel se dispone de una serie de elementos (objetos, eventos, sistemas, factores del entorno) y su estado (ubicaciones, situación, acciones).
- En un segundo nivel denominado de comprensión, *Situational Awareness* implica la comprensión de lo que dichos factores representan, principalmente si esa comprensión se imbrica con las metas de la persona que toma las decisiones. Esta

comprensión se lleva a cabo mediante la síntesis de una representación de la situación a partir de los elementos detectados en el nivel previo mediante procesos de evaluación, detección de patrones e interpretación. En este segundo nivel se obtiene una visión de lo que está ocurriendo en el teatro de operaciones.

- En un tercer nivel denominado de proyección, el concepto de *Situational Awareness* permite una comprensión de lo que acontecerá en el futuro. Esto se consigue extrapolando la tendencia en el futuro de la información de los niveles 1 y 2. En este tercer nivel se dispone la visión del nivel 2 y la estimación de las tendencias futuras de las dinámicas de los agentes implicados.

En el modelo de Endsley se destaca la importancia de la dimensión temporal en la comprensión situacional al ser ésta una entidad dinámica que varía en función del entorno, las acciones de los agentes y las características de las tareas/misiones que realimentan a la percepción.

Por otra parte en dicho modelo se destaca claramente la importancia de los factores individuales en la calidad y características del *Situational Awareness*. Así, con los mismos sistemas que entregan la misma información y conocimiento a distintos comandantes el *Situational Awareness* de cada uno de ellos podrá variar en función de sus aptitudes, entrenamiento, ideas preconcebidas, nivel de stress, etc.

Otro factor muy importante en el modelo de Endsley es la orientación a metas de las misiones como elemento que dirige la atención y la interpretación hacia una visión particular. Es pues muy importante saber a priori qué se quiere ver o qué tipo de aspectos se deben enfatizar para componer una visión del teatro de operaciones que se ajuste a las necesidades particulares de la misión filtrando datos no relevantes para los objetivos de aquella.

Esto se destaca en muchos estudios sobre percepción y cognición como [Sim67] [Koz09] donde se incide claramente en la importancia de la meta como elemento filtrador/cribador de la información existente para determinar una visión particular entre las múltiples que podían tomarse en consideración. Sin embargo es de señalar que lo que se quiere ver o qué se quiere resaltar puede ser algo que no se sepa inicialmente o puede que sea un elemento que vaya cambiando con el tiempo según evolucione el teatro de operaciones.

Relacionado con este punto está el hecho de que los usuarios con mayor experiencia podrán formarse modelos con mayor rapidez y cribar la información del entorno hacia modelos más adecuados a sus metas pero, como contrapartida, con una mayor predisposición a que las ideas preconcebidas y la falta de flexibilidad debido a la confianza en la experiencia, conduzcan a *situational awareness* erróneas, esto es, no adecuadas a lo que la misión demanda respecto a sus objetivos.

Según este paradigma se considera como dos factores principales la atención y la memoria de trabajo (en su acepción dentro del ámbito de la teoría cognitiva), y se considera que cuando se exceden sus límites y se produce una sobrecarga en los mismos es cuando decrece la calidad de la decisión y mayor es la probabilidad de error. Otros factores como la comunicación deficiente, la fatiga, el stress, sobrecarga e infracarga de trabajo así como expectativas errónea conducen a los mismos efectos indeseados. En un estudio sobre la

causa de accidentes aéreos de Endsley y Jones [Jon95] se categorizan las mismas atendiendo a los niveles de SA propugnados por el modelo.

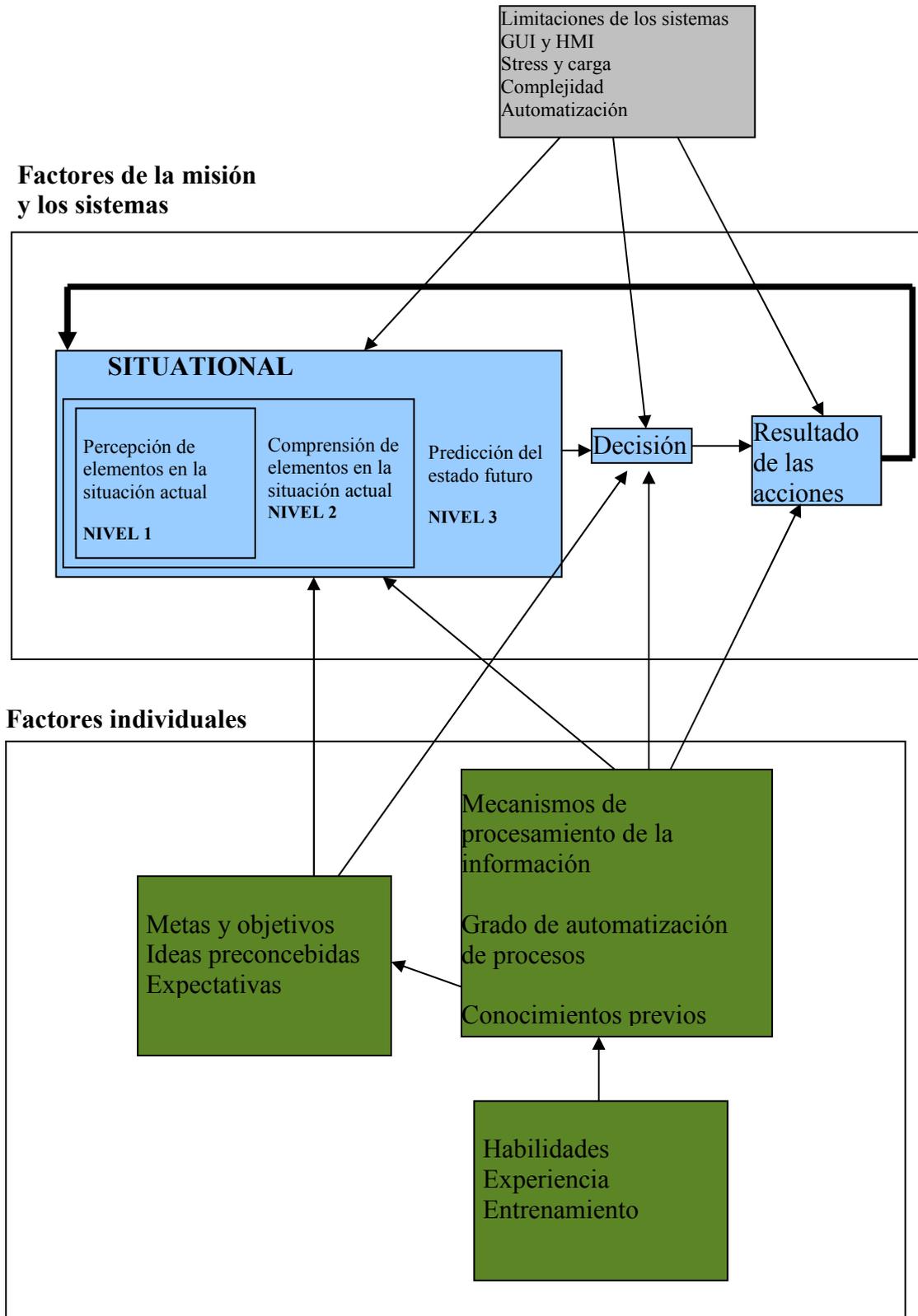


Figura 3: Modelo de SA según Endsley

Si bien el framework-modelo más extendido y aceptado de *Situational Awareness* es el de Endsley, existen otras aproximaciones. Cabe destacar la aproximación de Dennehy y Deighton [Den96] en la que se destaca, además, la naturaleza multidimensional del *Situational Awareness* haciendo compleja la identificación de variables sobre las que establecer una métrica. En este modelo se considera una categorización-clustering de SA aplicada al entrenamiento de pilotos de combate con el siguiente aspecto:

- Meta-Categoría de SA 1 – Conocimiento previo del piloto
- Meta-Categoría de SA 2 – Anticipación y entendimiento de eventos futuros
- Meta-Categoría de SA 3 – Capacidad para el manejo del estrés, capacidad de esfuerzo y grado de implicación
- Meta-Categoría de SA 4 – Capacidad para percibir, atender, evaluar y asimilar la información
- Meta-Categoría de SA 5 – Conciencia global

Otro modelo bastante extendido de SA es la teoría Interaccionista de Endler-Mischel [End73] [Mis73] que tiene como lema fundamental que 'es imposible entender el rol de un operador fuera del contexto-entorno en el que opera'. Como resultado se plantea el denominado modelo de ajuste P-E en el que P se corresponde a los factores personales del operador y E a los factores del entorno. En el mismo se identifican los siguientes cuatro dominios principales:

- Capacidades: entendidos como factores de tipo personal (P-factors) que no interactúan con el entorno y que se corresponden a factores relativos a las capacidades del operador como por ejemplo tiempos de respuesta ante un evento. Se entienden como factores objetivos de la persona.
- Habilidades: entendidas como factores de tipo personal (P-factors) pero que sí interactúan con el entorno (E-factors). Se corresponderían a las capacidades de afrontar el entorno por parte de la persona como el conocimiento de las tareas o la habilidad de anticipar respuestas del sistema con el que se interactúa en un entorno concreto. Se entienden como factores subjetivos de la persona.
- Roles de trabajo: entendidos como factores del entorno (E-factors) que interactúan con los P-factors. Estos son los factores del entorno que interactúan con los operadores como por ejemplo las tareas solicitadas por un operador o los objetivos de su misión. Se entienden como factores subjetivos del entorno.
- Mundo real: entendidos como factores del entorno (E-factors) que no interactúan con los P-factors. Son hechos relativos al entorno como las características objetivas del equipamiento, las condiciones atmosféricas, etc. Se entienden como factores objetivos del entorno.

En la siguiente figura se pueden ver los dominios descritos y como se solapan sus atribuciones.

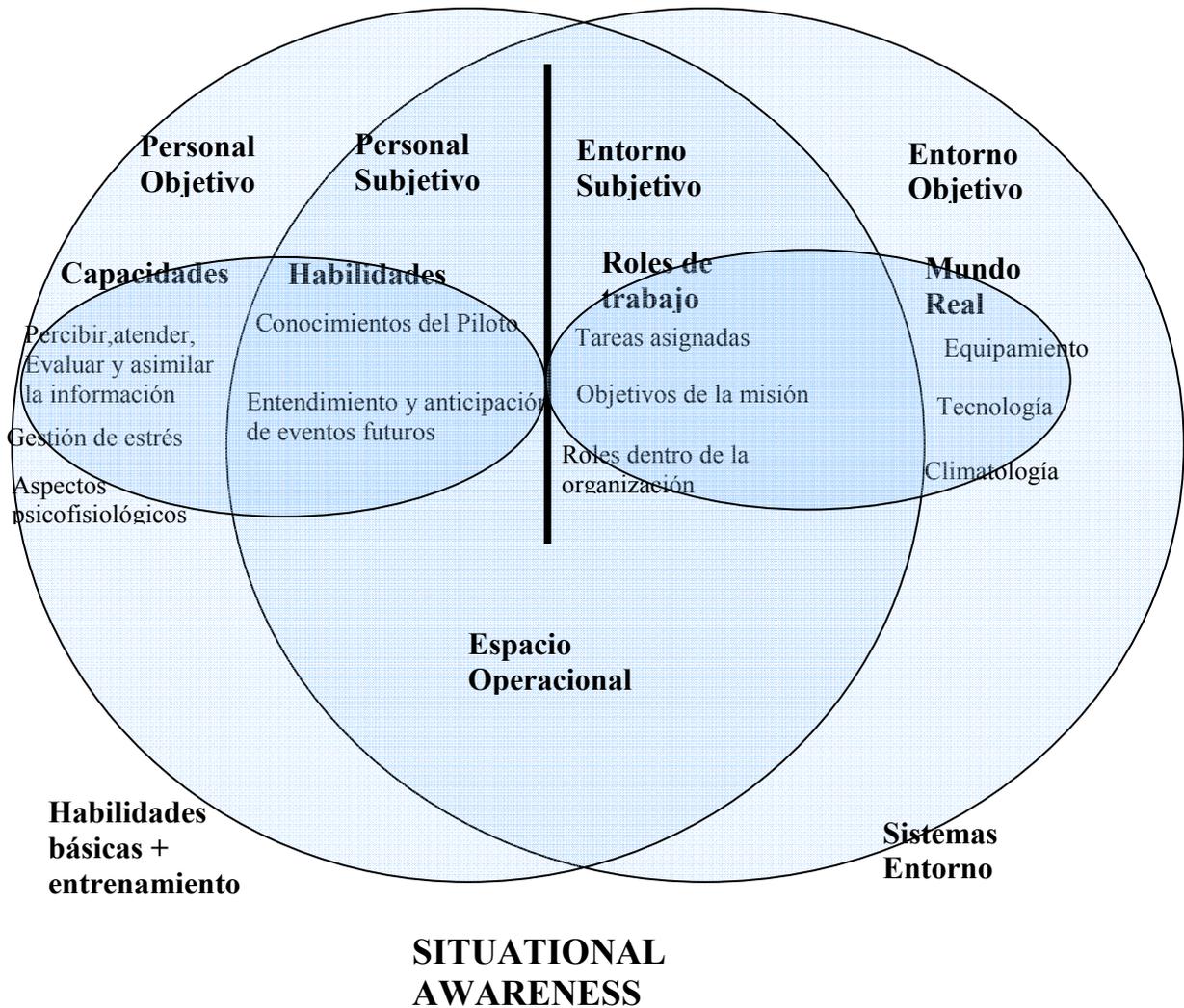


Figura 4: Modelo interaccionista de Endler-Mischel

Como se puede apreciar, las distintas aproximaciones son complementarias y ponen de relieve distintos aspectos de una misma realidad, cada uno una serie de elementos.

Existen diversos trabajos como los estudios de Jensen [Jen97] que estudian cómo afecta la sobrecarga al SA. La primera cuestión que se destaca en los mismos es cómo definir o parametrizar la sobrecarga en situaciones reales. En este trabajo se estudia la sobrecarga cognitiva en simuladores de vuelo de helicópteros, monitorizando las entradas al sistema, los valores del instrumental y actuadores y datos biométricos así como performance en el cumplimiento de la misión.

Acerca de la conciencia situacional existe gran número de trabajos que inciden en la parte teórica del mismo como [Ban04] [Jon93] así como múltiples áreas relacionadas como aspectos de la calidad y utilidad de la información a la hora de elaborar el SA [Arn03], desarrollo los sistemas que lo faciliten [Hau02] o herramientas para la medida de la calidad del mismo [Str00]. *Situational Awareness* por su propia naturaleza es un concepto que debe ser particularizado en función de la operación, los agentes implicados, el entorno, etc. Así existen diversos estudios que intentan aportar modelos y métricas concretas para las necesidades de la infantería en entornos urbanos [Mat00] o técnicas de entrenamiento para una mejora del SA en pilotos de combate [End00].

El concepto ha recibido lógicas extensiones relacionadas con la conciencia situacional colectiva o en grupo de trabajo en el cumplimiento de una misión. Estas extensiones intentan modelar las características de la interacción de las distintas cogniciones individuales así como la conciencia situacional compartida que emerge. Endsley [End95] define el concepto de *Team Situational Awareness* (TSA) como: “el grado hasta el cual cada miembro de un grupo de trabajo poseen la conciencia situacional necesaria para llevar a cabo sus responsabilidades”.

Complementariamente define la *Shared Situational Awareness* (SSA) o conciencia situacional compartida como: “el grado en el que los miembros poseen la misma SA sobre requerimientos o tareas compartidas”.

En una primera instancia y, grosso modo, la primera se puede considerar como la unión de las distintas SA mientras que la segunda se puede considerar como la intersección de las mismas.

La complejidad aumenta varios órdenes de magnitud en TSA y SSA pues entra en consideración la interacción, comunicación, coordinación, etc. de las SA individuales implicadas.

Endsley y Jones [End01] plantean un modelo de SSA en el que se destaca que TSA depende directamente del SA individual de cada actor implicado así como un alto nivel de SA compartido entre los mismos y que incluye los siguientes factores:

- Requerimientos de Team SA: El nivel hasta el cual los miembros de un grupo de trabajo saben qué información debe ser compartida, incluyendo sus evaluaciones y proyecciones de alto nivel así como información relativa al desarrollo del cumplimiento de sus tareas.
- Dispositivos de Team SA – Dispositivos y sistemas disponibles para llevar a cabo la compartición de esta información.
- Mecanismos de Team SA - El grado de disponibilidad de mecanismos entre los mismos, tales como modelos mentales compartidos, que les faciliten la tarea de interpretar la información en una línea coordinada y que permitan poder llevar a cabo proyecciones adecuadas respecto a las acciones futuras de los demás.
- Procesos de Team SA - Grado hasta el cual los miembros de un grupo se coordinan en procesos eficientes para compartir su SA y que puede incluir mecanismos de comunicación, coordinación y priorización de tareas así como el establecimiento de planes de contingencia.

En los trabajos de Alberts et al. [Alb00] se añaden matices al concepto de SSA de forma que se afirma que la conciencia compartida conduce a la colaboración como grado superior de actuación de agentes y esta, en grado máximo conduce a la sincronización en el dominio de la realidad de la operación (dominio físico), en las acciones y efectos que aquellos producen en el cometido de las operaciones. Las concepciones de estos trabajos están más orientadas a los efectos o resultados que el SA o el SSA provocan en las misiones que a la SA o SSA per

se. Este aspecto se verá con más detalle en puntos posteriores cuando se estudie el trabajo de dichos autores.

Es difícil encontrar un modelo o formalización de SA, TSA o SSA en el que se puedan encontrar métricas relativas a conciencia de la situación unívocas o claramente definidas por la ambigüedad inherente a la misma debida a su complejidad así como a su naturaleza multidimensional.

En la literatura existente podemos encontrar métricas objetivas de SA y subjetivas de la misma así como medidas directas o medidas inferidas del resultado o rendimiento en cumplimiento de una misión [Bol05] [Gar00]. Las primeras miden valores objetivos como por ejemplo los obtenidos del seguimiento del movimiento ocular, verbalizaciones y comunicación, ERP, EEG y ECG. Son interesantes para analizar procesos cognitivos pero se quedan incompletas a la hora de evaluar toda la cadena de SA puesto que, por ejemplo, el salto semántico entre mediciones fisiológicas y su interpretación cognitiva (caso de dos muestras de EEG y los procesos de SA asociados) está por determinar.

Dentro de las técnicas subjetivas destacan aproximaciones de self-rating como *Situational Awareness Rating Technique* (SART) [Tay89] o *Post-Trial Participant Subjective Situation Awareness Questionnaire* (PSAQ) [Stra01] así como técnicas en las que un evaluador externo (otros comandantes, por ejemplo) es el que hace la evaluación del SA. Estas técnicas, al menos en el primer caso, pueden apuntar a problemas característicos de los sistemas autoreferenciales o como se suele decir en la literatura asociada y por obvio que parezca, “uno no está al tanto de lo que desconoce”.

Otras medidas son las relativas a la evaluación del SA a partir de medidas en el desarrollo (comportamiento), éxito de una misión, precisión de las respuestas y tiempos de ejecución. Tienen la ventaja de ser no intrusivas pero también es difícil determinar el grado de correlación entre el nivel de éxito y el nivel de SA así como el grado de objetividad de las mismas. Para eliminar la subjetividad inherente a este mecanismo se han desarrollado métodos como *Situation Awareness Behaviorally Anchored Rating Scale* (SABARS) [Mat00].

Respecto al punto de intervención de la monitorización, en la literatura se categorizan tres aproximaciones: medidas tomadas en tiempo real en el transcurso de la operación y medidas tomadas off-line, dentro de las cuales se dividen las aproximaciones en aquellas que son post-mortem y otras en las que se detiene la ejecución de la misión (por motivos naturales o bien en simulaciones o pruebas de entrenamiento). Destaca la técnica *Situation Awareness Global Assessment Technique* (SAGAT) [End88b] en la que, a intervalos aleatorios se detiene la ejecución del ejercicio y se somete a los participantes a baterías de cuestionarios combinadas con medidas objetivas.

Por otra parte, hay que destacar recientes esfuerzos en la línea de mejorar SA y SSA por medio de técnica avanzadas de Inteligencia Artificial como por ejemplo la utilización de arquitecturas multiagente para llevar a cabo dicha mejora que facilite los procesos de la toma de decisiones [Fan05] mediante el modelo *Recognition Primed Decision Model* [Kle97] muy extendido y que facilita el estudio de procesos cognitivos en ámbitos distribuidos.

2.3 Nuevos modelos de mando y control. Network Centric Warfare

En cualquier caso, en los últimos quince años se ha producido una auténtica revolución en el mando y control determinada, principalmente por los trabajos teóricos acometidos bajo los auspicios del departamento de defensa de los Estados Unidos y su programa de investigación en mando y control CCRP (Command and Control Research Programme) que intentan determinar nuevas aproximaciones al mando y control motivadas por el impacto de la informática y las comunicaciones en los sistemas C4ISR. Fruto del trabajo de ese programa de investigación del DoD han surgido toda una serie de modelos, paradigmas y conceptos del mando y control de investigadores de la talla de D.S Alberts, R.E Hayes y J.Moffat.

El punto de partida de todos estos trabajos ha sido las limitaciones detectadas a los trabajos anteriormente expuestos en cuanto a que el ámbito de aplicación de los modelos propuestos era muy limitado a un único bucle, que no se estudiaba con detalle la emergencia de la coordinación entre unidades aisladas, que no se estudiaban paradigmas de mando salvo el estrictamente jerárquico y toda una serie de carencias que condujeron a replantear por completo los trabajos teóricos acerca del mando y control. Únicamente con una salvedad, el esquema básico del mando y control que se propone sigue fundamentándose en la teoría de control y sistemas y se sigue planteando como un bucle realimentado.

De esta manera en el trabajo inicial de Alberts “Network Centric Warfare” [Alb99] y el los siguientes “Understanding Command and Control” [Alb06], “Understanding Information Age Warfare” [Alb01], “Power to the Edge” [Alb03] y “the Agile Organization” [Atk05], por citar los más destacados, se plasman las ideas fundamentales de estos nuevos planteamientos acerca del mando y control. En la siguiente figura se puede ver una interpretación [Est06] del esquema global del mando y control propuesto por Alberts [Alb06].

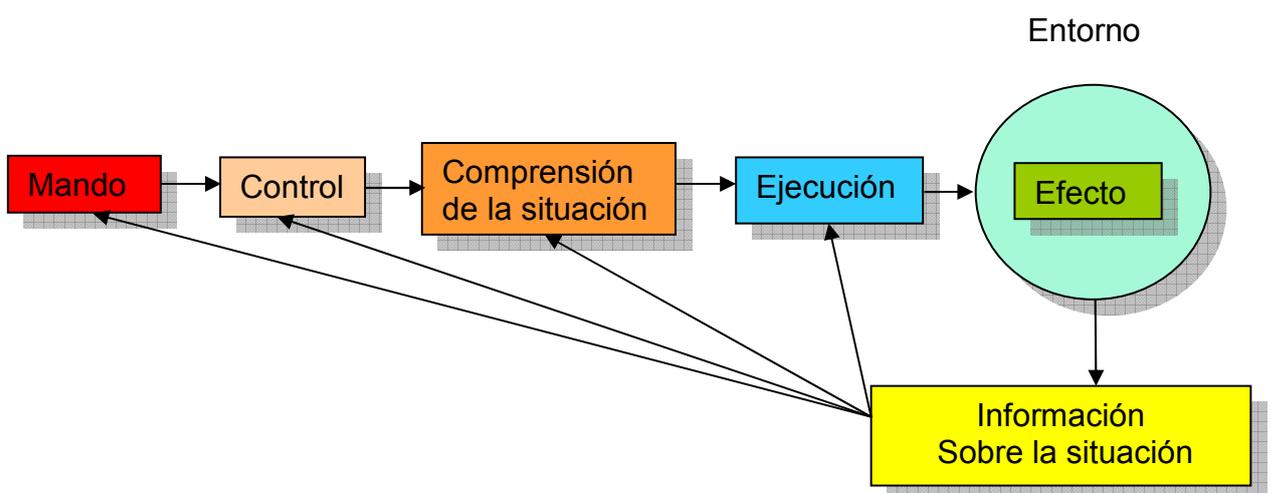


Figura 5: Esquema de mando y control Network Centric Warfare

Dentro del paradigma planteado en los trabajos de estos autores, se redefinen los conceptos asociados, de la siguiente manera [Est06]:

- **Mando:** El mando se caracteriza por los siguientes elementos
 - definición de la situación inicial y de posibles líneas de evolución futura
 - demarcación de intenciones primarias y objetivos iniciales
 - asignación de roles, responsabilidades y relaciones
 - establecimiento de reglas y restricciones a la acción (ROEs: Rules Of Engagement)
 - asignación de recursos (materiales, personales, información)
 - ejercer un liderazgo adecuado (inspirando, motivando y fomentando la confianza así como el entrenamiento y la mejora continua)

- **Control:** El control se caracteriza por los siguientes elementos
 - seguimiento de la evolución de los planes actuales o futuros
 - ajustes para mantener el sistema dentro de los márgenes definidos por la función de mando
 - interpretación de las intenciones de mando

- **Comprensión de la situación:** Que se caracteriza por los siguientes elementos:
 - seguimiento de la evolución del teatro de operaciones, sus variables y agentes implicados.
 - Adaptación a las modificaciones de curso y dinámicas emergentes en el mismo.
 - percepción compartida de la situación, proyección de la situación al futuro inmediato
 - toma de decisiones, traducción de las intenciones de mando en objetivos y efectos

- **Ejecución:** Que consiste en :
 - un conjunto de acciones e instantes de tiempo en que se llevan a cabo, como resultado de una o más intenciones de mando, pudiendo implicar o no colaboración entre los actores

- **Efectos:** Consistente en:
 - modificación del entorno físico o cognitivo, como resultado de la ejecución de la intención de mando

- **Información sobre la situación:** monitorización del entorno físico o cognitivo, y de los efectos de la ejecución

El concepto de *Network Centric Warfare* (NCW) es bastante reciente y tiene sus primeras acepciones en el trabajo del Almirante W.Owens [Owe96] quien considera que se debe producir una revolución en las arquitecturas militares para conducir al concepto de “sistema de sistemas” que englobe una arquitectura global y distribuida de sensores, puestos de mando y control, sistemas de armamento o actuadores. Esta arquitectura global debe, gracias a la superioridad de información, conducir a una mayor efectividad. En el documento “Joint vision 2010” [JOV] también se destaca la necesidad de la superioridad de la información gracias a una interconexión eficiente de todos los sistemas militares para alcanzar la superioridad de efectividad en las misiones.

Los sistemas y arquitecturas militares previos (actualmente aun siguen siendo la mayoría) seguían una aproximación denominada *platform-centric* y caracterizada por las comunicaciones analógicas y punto a punto, sin transparencia de la ubicación y los medios en gran parte de los casos.

Así, el concepto de Network Centric Warfare (NCW) y su otra acepción de Network Centric Operations (NCO) (en el Reino Unido se denomina Network Enabled Capability (NEC)) se corresponden a la doctrina militar en boga inicialmente planteada por Alberts et al [Alb99] [Alb00] que intenta trasladar la superioridad en información en superioridad de combate vía la interconexión robusta y reconfigurable de fuerzas propias muy bien informadas y potencialmente dispersas en un marco geográfico. El trabajo inicial ha sido continuado en [Alb03] y [Alb06], entre otros.

El modelo NCW tiene muy presente la adecuación de la parte técnica a un cambio global también en procedimientos, organización y doctrinas para generar nuevas formas de comportamientos organizativos. Se puede enunciar con la siguiente línea de pensamiento:

- Una fuerza con un modelo de interconexión y unas redes de comunicaciones robustas mejora el intercambio y la compartición de información entre sus elementos constituyentes.
- La compartición de información mejora la calidad de la misma y la conciencia situacional compartida.
- Una conciencia situacional compartida permite la colaboración y la autosincronización, mejorando la sostenibilidad y la velocidad del mando.
- Todo esto, finalmente, mejora ostensiblemente la efectividad en el desarrollo de la misión.

Según se destaca en [Alb06] [Est06], Network Centric Warfare es:

- Elevada conectividad de red y elevado grado de digitalización (*Infostructure*)
- No mover personas o medios, mover información
- Una nueva forma de pensar, de comportamiento individual y de organización

Y sin embargo no es:

- Sólo red o medios tecnológicos.
- El cambio definitivo en el arte de la guerra

Respecto a este punto, en [FOT05] se destaca que los principios de NCW no van a

reemplazar los principios de la guerra clásica probados durante siglos: masa, objetivo, ofensiva, seguridad, economía de fuerzas, maniobra, unidad de mando, sorpresa, simplicidad, entrenamiento y valor individual. NCW provee una nueva manera de hacer las cosas, complementaria en muchos casos con lo anteriormente existente.

Según se enuncia en [Alb06] NCW posibilita una serie de ventajas a las fuerzas que apliquen dicha aproximación respecto a enfoques previos:

- Compartir la información: que constituiría la ventaja trivial de esta aproximación
- Mejorar la percepción individual de la realidad
- Compartir la percepción de la realidad: En este caso ya no se está hablando de compartir la información sino un nivel superior de la misma, la percepción como información elaborada.
- Permitir la colaboración y sincronización:
- En el caso extremo, permitir la autosincronización
- Aumentar el ritmo de las operaciones
- Mejorar de forma notable la efectividad

Es muy importante destacar que NCW no es sólo red. De hecho se requiere un cambio sustancial en doctrinas, procedimientos y formación para poder llevarlo a cabo. Así, uno de los objetivos fundamentales de NCW es transformar una ventaja de información en una ventaja operativa en efectividad respecto al adversario. Esa ventaja operativa en efectividad no sólo explota la ventaja en información sino que debe apoyarse en procedimientos y doctrinas adecuadas a las nuevas formas de trabajar determinadas por NCW para provocar el cambio en comportamiento.

Relacionado con esto estaría el concepto de *Effects Based Operations* (EBO) [Smi03] desarrollado por el DoD tras la primera guerra de Irak para la planificación y la conducción de operaciones en conflictos asimétricos, conflictos de cuarta generación y operaciones de paz. EBO consiste en llevar a cabo operaciones que, no se limiten a destruir una posición concreta o tomar una determinada cota, sino que acaben por provocar un estado determinado en la situación global del enemigo. Por ejemplo se proponen operaciones de desmoralización, guerra electrónica o interrupciones logísticas como medios no letales para rendir al enemigo minimizando las bajas civiles y el daño a las infraestructuras. Como se señala en [Bat02] EBO se destaca por siete puntos característicos:

- Centrado en superioridad de la capacidad de decisión
- Aplicable tanto en tiempos de paz como de guerra (doctrina de amplio espectro)
- Centrado en resultados finales más allá de efectos directos e inmediatos, de primer orden.
- Es fundamental el conocimiento de los sistemas y procedimientos del adversario
- Habilidad para la adaptación disciplinada
- Capacidad para explotar las ventajas propias
- Capacidad de los responsables de la toma de decisiones para adaptar reglas y asunciones a la realidad

Uno de los conceptos fundamentales de EBO es el de centro de gravedad de cada una de las partes implicadas y que se corresponde a aquellas características y capacidades a partir de

los cuales un agente desarrolla su libertad de acción, fuerza o voluntad. Identificadas estas, tanto las propias como en el caso del rival, se pueden planificar operaciones que indirectamente las potencien o las minen. Ejemplos de ello serían el liderazgo, la capacidad operativa, la capacidad de los sistemas, las infraestructuras, etc. Diversos autores, como [Smi03] [Alb06] [FOT05], señalan NCW como el marco ideal en el que poder llevar a cabo EBO. Cabe destacar que el trabajo de [FIA06] detalla diversas operaciones llevadas a cabo en Afganistán como EBO.

En el trabajo de [Cla07] se destaca el cambio de paradigma que se está experimentando actualmente hacia aproximaciones EBO, sobretodo debido a la necesidad que surge en conflictos asimétricos, así como la complejidad, por incongruente que parezca, de determinar paradigmas en los cuales desarrollar métricas de efectividad de las operaciones más allá de la solución trivial {es efectiva, no es efectiva} que, en muchos escenarios de análisis, los autores destacan como insuficiente.

Según [Alb06] [Alb00] [FOT05] los principios que gobiernan NCW son:

- Promover en todo momento la superioridad de la información: Generar una ventaja de información a partir de mejores tiempos, precisión y relevancia de la información.
 - Aumentar las necesidades de información del enemigo, reducir su capacidad para acceder a la información, aumentar su grado de incertidumbre.
 - Garantizar nuestro acceso a la información por medio de una fuerza bien interconectada e interoperable.
 - Reducir nuestras necesidades de información principalmente en volumen.
- Fomentar el acceso a la información y la conciencia situacional compartida: De manera rutinaria trasladar información y conocimiento entre los distintos participantes.
 - Construir una red de interconexión de redes existentes, garantizar que fluya por ella toda la información relevante necesaria, bien sean datos crudos o elaborados, y con una tasa de actualización lo más adecuada posible para posibilitar que las fuerzas construyan una conciencia compartida adecuada a sus necesidades.
 - Los consumidores de información deben constituir también proveedores de la misma. Se debe permitir el acceso a la información independientemente de la ubicación.
 - Una conciencia compartida de alta calidad requiere redes seguras.
- Fomentar la velocidad de mando y la toma de decisiones: Los comandantes deben ser capaces de detectar una ventaja de información y convertirla en una ventaja competitiva por medio de procesos y procedimientos.
 - Bien sea a través de la adaptación y/o innovación en el campo de batalla o reduciendo los tiempos en la toma de decisiones para convertir esa ventaja de información en superioridad de la decisión y efectos decisivos.
 - Fijando y limitando los grados de libertad y las opciones del adversario para, en última instancia, tener dominio sobre el espectro de opciones.
- Autosincronización: Fomentar que las unidades de bajo nivel operen de manera prácticamente autónoma y se reasignen tareas a ellas mismas a través de la explotación de la conciencia situacional compartida y el conocimiento de las

- intenciones del comandante superior.
- Fomentar y aumentar el valor de la iniciativa de los subordinados para permitir un incremento en el ‘tempo operacional’ y en la capacidad de respuesta.
 - Explotar los beneficios de unos oficiales con un alto grado de formación y entrenamiento que puedan intuir las intenciones de sus superiores y actuar coordinadamente.
 - Tener la capacidad de rápidamente adaptarse a nuevos cambios en el teatro de operaciones.
- Fuerzas dispersas, operaciones no contiguas: El teatro de operaciones ahora es discontinuo y disperso.
 - Poner énfasis en el control funcional respecto a la ocupación física del teatro de operaciones y generar una fuerza de combate efectiva en el tiempo y lugar adecuados.
 - Conseguir ser no lineal en tiempo y en espacio pero permitiendo alcanzar la densidad de fuerza requerida bajo demanda.
 - Desmasificación: Desplazar la aproximación existente basada en fuerzas masivas y contiguas en el espacio en otra basada en la consecución de efectos y que no requieren, necesariamente, fuerzas masivas.
 - Utilización de la información para la consecución de los efectos deseados, limitando la necesidad de limitar las fuerzas a un área concreta.
 - Aumentar el tempo y la velocidad de movimiento de la fuerza a través del teatro de operaciones para complicar el seguimiento por parte del oponente.
 - Aumentar el alcance de los sensores: Extender por completo el uso de los sensores desplegados, distribuidos y en red de todo tipo que puedan detectar variaciones en información sobre elementos de interés en rangos relevantes a nivel operacional para alcanzar efectos decisivos.
 - Equilibrar los niveles de Inteligencia, vigilancia y reconocimiento (ISR).
 - Utilizar los sensores como elementos de maniobra para alcanzar y mantener la superioridad de la información.
 - Usar los sensores como elemento disuasorio
 - Permitir que cada plataforma armamentística sea un sensor, desde el soldado individual hasta el satélite.
 - Operaciones comprimidas: Eliminar las fronteras de procedimiento entre servicios y procesos de forma que las operaciones conjuntas sean conducidas por los niveles operacionales más bajos posibles de forma que se alcancen los efectos deseados de la manera más rápida posible.
 - Incrementar la convergencia en la velocidad de despliegue, velocidad de utilización y velocidad de mantenimiento.
 - Eliminar la estancamiento de procesos (organización, despliegue, uso, mantenimiento) y las áreas funcionales (operaciones, inteligencia, logística).
 - Eliminar las fronteras estructurales para poder fusionar capacidades en los niveles organizativos más bajos posibles, por ejemplo operaciones conjuntas a nivel compañía o sección.
 - Alterar las condiciones iniciales con una tasa elevada de cambio: Explotar los

principios de conciencia compartida de alta calidad, autosincronización dinámica, fuerzas dispersas y desmasificadas, alcance de sensores aumentado, operaciones comprimidas en los niveles de guerra y elevada velocidad de mando para permitir con cierta agilidad a las fuerzas conjuntas el identificar, adaptarse y cambiar el contexto operativo del oponente para nuestro propio beneficio. Según se destaca en [FOT05], las acciones en un teatro de operaciones son muy dependientes del camino marcado y las inercias preexistentes de ahí lo imperativo de poder controlar las condiciones iniciales.

Dentro de los programas del DoD existen otros que tienen una relación estrecha con el NCW. En concreto, según las directivas del DoD, el programa *Global Information Grid* (GIG) debería ser el framework tecnológico principal sobre el que se sustentara el NCW. Según está directiva, todos los sistemas de sensores, armamentísticos y de mando y control deberían estar interconectados mediante GIG, en un concepto que han denominado ‘sistema de sistemas’. Sin embargo GIG se ha revelado como un muy ambicioso proyecto que no acaba nunca por concretarse y mientras que el concepto NCW sí que está siendo implementado un poco como sucedió con la aproximación de la ITU para el correo electrónico (X.400) respecto a la del IETF.

Diversos programas y sistemas del ejército estadounidense ya en despliegue han sido desarrollados con la filosofía NCW, cabe destacar el programa Cooperative Engagement Capability (CEC) [CEC] de la armada para el seguimiento de blancos y el proyecto Future Combat Systems (FCS) [FCS] que interconectará redes de sensores, Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Unmanned Ground Vehicle (UGV), sistemas a nivel de desmontado y sistemas de mando y control de nivel de batallón e inferiores.

La calidad del mando y control está determinada por la interrelación de las calidades de las etapas asociadas. Así la calidad del mismo viene determinada por la calidad del mando, la calidad del control, la calidad de la comprensión de la situación (SA) y de la calidad de la ejecución. El elemento del que dependen todas ellas es el de la calidad de la información para la consecución del objetivo final de todo sistema C2, la efectividad en el desempeño de una misión. Esto se puede ver en la siguiente figura [Alb06] [Est06]:

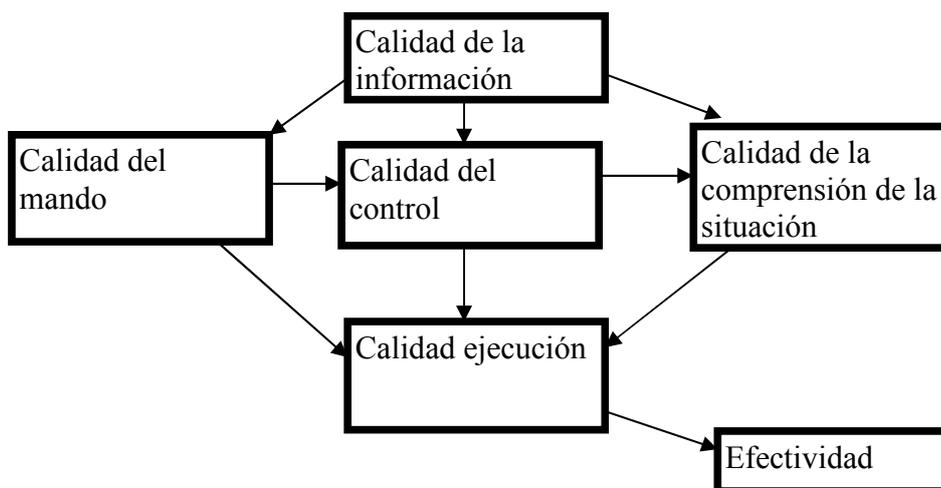


Figura 6: Calidad del mando y control

El factor determinante o elemento sin el cual todo falla es el de la calidad de la información. La calidad de la información se puede descomponer en sus partes constituyentes: calidad ISR (Intelligence, Surveillance and Reconnaissance), calidad en el transporte y calidad en los servicios de información. En el primer caso factores como la calidad de los sensores, los rangos de cobertura de los mismos y las tasas de actualización serán determinantes. En el caso de la calidad del transporte, la calidad de servicio, la conectividad y la interoperabilidad serán básicos. Respecto a la calidad en los servicios de información, la posibilidad de descubrimiento de servicios, la colaboración, la seguridad y la visualización serán los elementos clave.

En [Alb06] [Alb03] se definen toda una serie de primitivas y dominios para articular su teoría de mando y control. En concreto se señalan cuatro dominios básicos entendidos como las partes en las que se divide la arquitectura conceptual CIS: dominio físico, dominio de la información, dominio cognitivo y dominio social estructurados en el orden que se puede ver en la siguiente figura

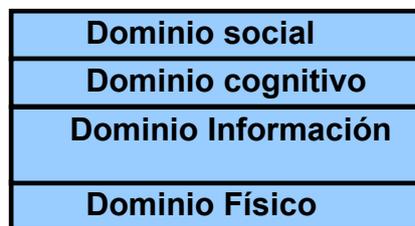


Figura 7: Dominios de mando y control

- El dominio físico es el relativo al entorno real del teatro de operaciones donde se producen los eventos
- El dominio de la información es el relativo a los datos obtenidos por los sensores y transportados por los dispositivos de red
- El dominio cognitivo es el relativo a la información elaborada (conocimiento) que manejan los comandantes a partir de los datos del dominio de la información.
- El dominio social es aquel en el que se llegan a establecer acciones conjuntas entre comandantes

El mando y control tiene una serie de salidas según el dominio que se trate. Así para el dominio físico se tratará de la asignación de recursos y el control del material; para el dominio de la información se tratará de la asignación de recursos tanto para el acceso a la información como para evaluaciones y la compartición de la misma; en el dominio cognitivo se tratará de la conciencia de intenciones, así como roles, responsabilidades, reglas y restricciones; y en el dominio social la naturaleza de las acciones y la asignación de recursos y personal.

Existen una serie de primitivas de mando y control que operan en cada uno de los dominios y que constituyen los componentes conceptuales básicos. Las primitivas son: sensorización, datos, información, percepción, conciencia, conocimiento, comprensión, compartición, colaboración, decisiones, acciones, sincronización, cada una circunscrita a uno de los cuatro dominios.

En este modelo se constata que en el dominio físico se producen Eventos, los cuales se traducen en sensorizaciones en el dominio de la información que acaban por transformarse en percepciones en el dominio cognitivo, como se puede ver en la siguiente figura y sucesivas [Est06]:

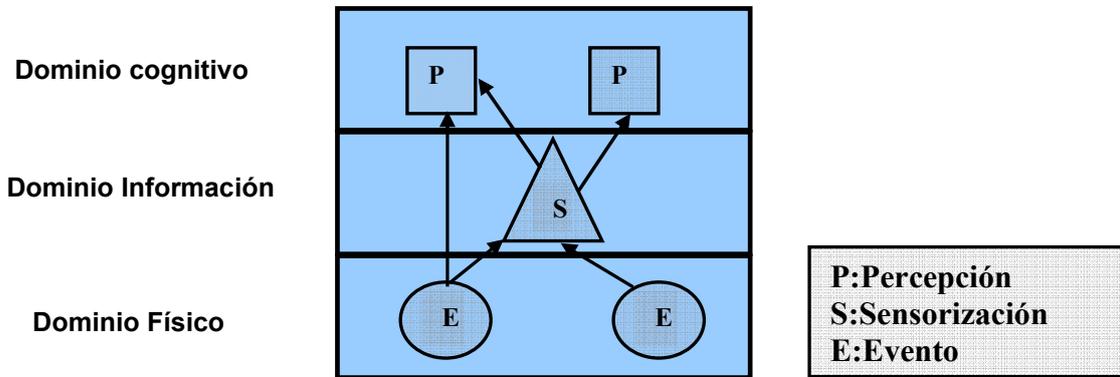


Figura 8: Elaboración de conocimiento en cada dominio.

A nivel cognitivo se trata con primitivas de conocimiento que vienen determinadas por la información sensorizada. Dicha información se complementa con la doctrina, la formación, el entrenamiento y la experiencia del comandante para generar la denominada conciencia de la situación. Si la misma posibilita una proyección hacia el futuro entonces estamos hablando de 'comprensión de la situación'. En este mismo dominio cognitivo, una correcta comprensión de la situación permite la adecuada toma de decisiones.

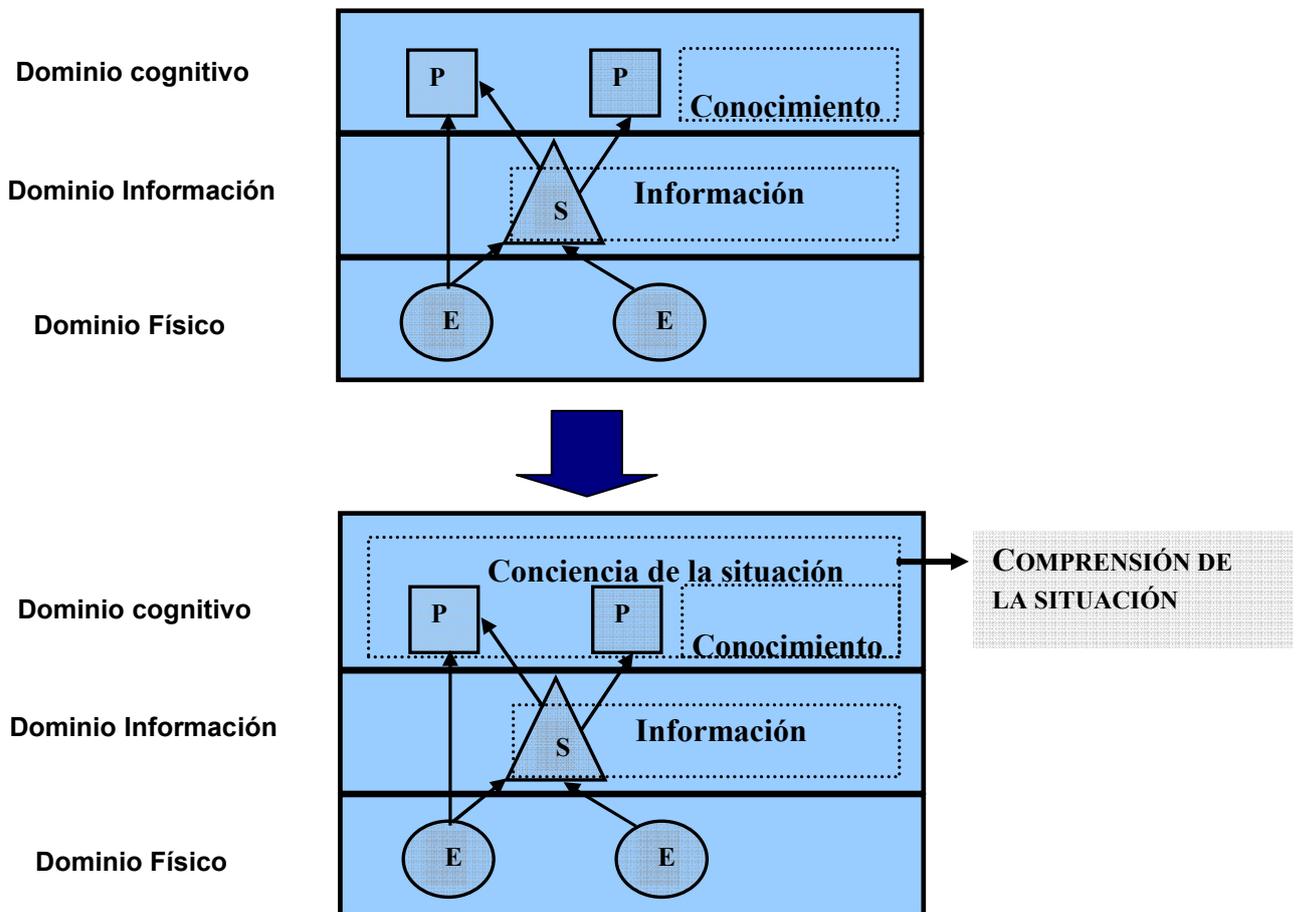


Figura 9: Comprensión de la situación.

A partir de aquí se produce el camino de vuelta en el esquema de dominios, las decisiones conducen a acciones en el dominio de la información las cuales determinan efectos en el dominio físico.

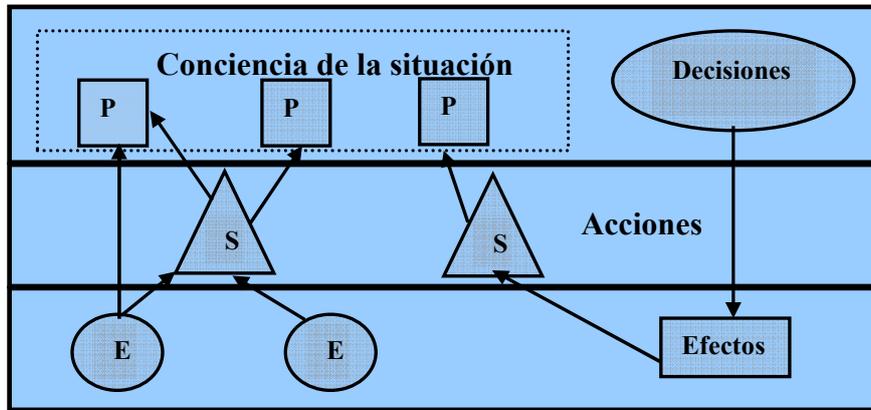


Figura 10: Generación de efectos en el dominio físico.

Respecto al trabajo colaborativo dentro de esta taxonomía de dominios cabe destacar que en el dominio de la información podemos estar hablando de una compartición de la información (sensorizaciones en cada nodo) que conduce a percepciones en los nodos las cuales determinan conocimiento en el dominio cognitivo de los mismos y a partir de ahí conciencia compartida. Esta lleva a decisiones en cada uno de los nodos lo cual en dominio cognitivo compartido determinaría la denominada colaboración. Esta, en el camino de bajada, conduce a un plan en el dominio de la información compartido que provoca unos efectos en cada uno de los dominios físicos que, si son compartidos, conduciría a la sincronización.

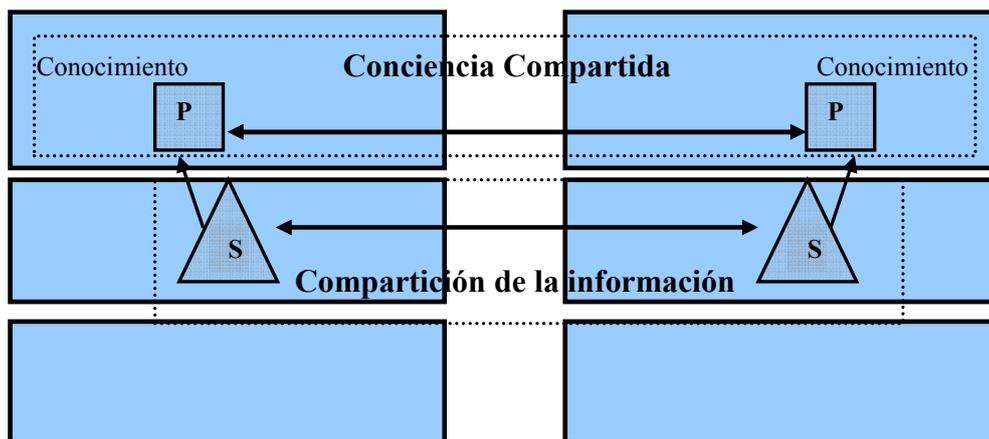


Figura 11: Conciencia compartida.

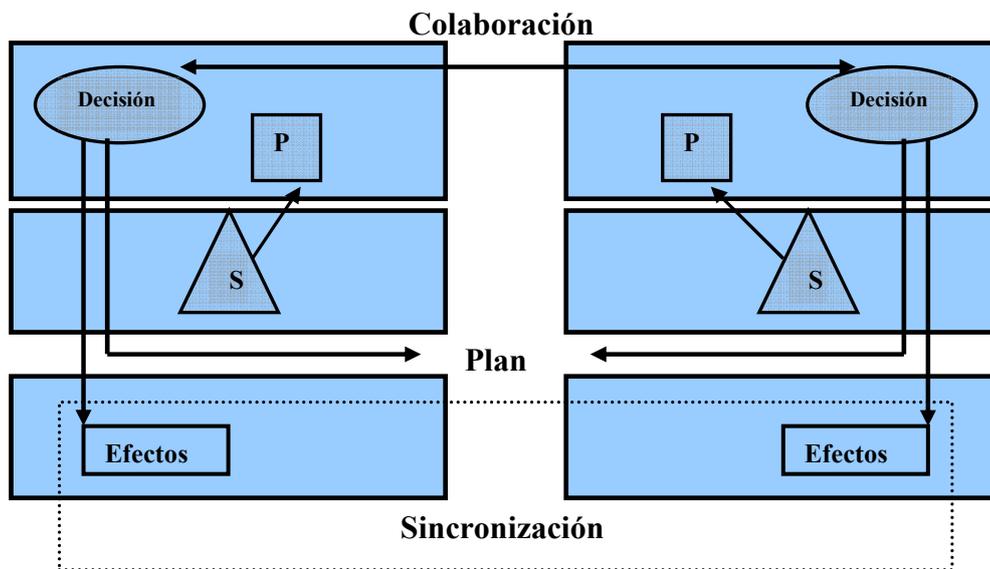


Figura 12: Colaboración y sincronización.

En la siguiente figura se pueden ver los distintos dominios con sus efectos asociados.

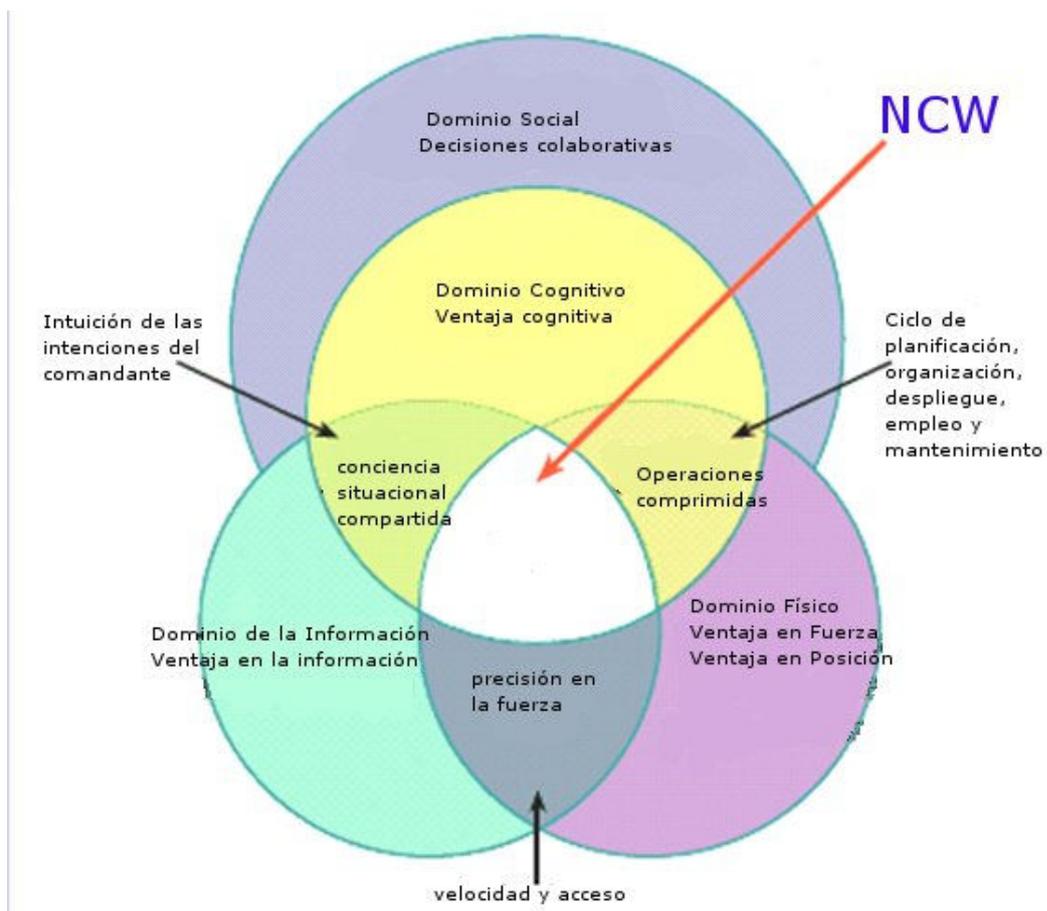


Figura 13: Dominios de NCW y su interrelación

El paradigma define tres dimensiones en el dominio de la información: riqueza o calidad de la información, alcance o calidad de distribución y calidad de interacción.

Las tres dimensiones se optimizan en un paradigma 'post and smart pull' que es el que se preconiza en la literatura: entregar la información que se obtiene del entorno y tomar del sistema la que nos es necesaria. Para ello, como se indica en [Alb03], es necesario utilizar las arquitecturas y herramientas adecuadas que faciliten dicha aproximación: *Service Oriented Architecture* (SOA), arquitecturas y tecnologías ricas en metadatos y protocolos de descubrimiento de servicios y recursos, entre otros. No sólo la parte técnica de los sistemas debe experimentar ese cambio para favorecer la transformación, también los usuarios deben modificar sus usos y procedimientos para explotar las ventajas del paradigma.

En este mismo modelo se estipulan toda una serie de Atributos para cada una de las dimensiones señaladas. Así, los atributos de la riqueza o calidad de la información son la completitud, la corrección, la aceptabilidad, la precisión y la consistencia. Por otra parte existen tres atributos dependientes de la situación como son la relevancia, la actualidad y la seguridad.

En este mismo trabajo se destaca que muchas veces hay que diferenciar, para el caso de la dimensión de la calidad de la información, entre toda la información disponible y toda la información relevante disponible. En el primer caso tendremos métricas de la agilidad de información de la organización mientras que en el segundo las tendremos de la utilidad situacional de la misma.

Los atributos de la dimensión del alcance o capacidad de distribución son: rango geográfico, continuidad en el tiempo, número de nodos activos simultáneamente, latencia de compartición, capacidad de compartición entre áreas funcionales, capacidad de compartición a través de los escalones de mando, capacidad de compartición entre distintos niveles de seguridad, capacidad de compartición entre miembros de una alianza o una coalición.

Es de destacar la componente de seguridad y los problemas que tiene asociado a la hora de implementar NCW. Es por ello que existen múltiples soluciones del tipo de diodos de seguridad, así como interoperabilidad a nivel táctico y estratégico.

Los atributos de la dimensión de la calidad de interacción son: intercambio de datos, voz, imágenes estáticas o video, la interactividad entre los extremos así como la capacidad de tiempo real o tiempo útil. Dentro de los tipos de interacción la multiplicidad de los mismos determinará grandemente la naturaleza de la transferencia de información y su adecuación a los requerimientos operativos de las misiones. Así, factores como la sincronía, la periodicidad, la topología, la jerarquía, la espontaneidad o planificación, el paradigma de inserción/extracción de datos, deberán ajustarse en función del tipo de misión a llevar a cabo y los objetivos a obtener.

Un elemento que se destaca como muy importante en este enfoque es la capacidad de información de que se dispone respecto a la necesidad de la información que se precisa, todo ello en el ámbito de las tres dimensiones destacadas. Así cuando se comparan las prestaciones en el dominio de la información de dos fuerzas, no sólo hay que comparar el cubo que describen las tres dimensiones de la información sino teniendo en cuenta las

necesidades de información de cada una de ellas [Est06].

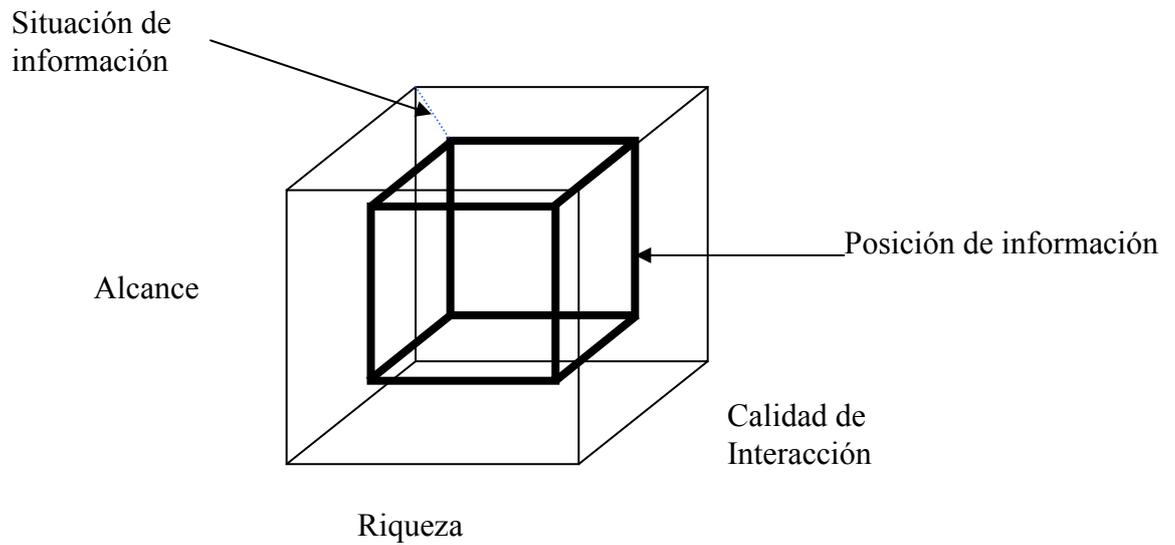


Figura 14: Situación de información

Esto se puede ver en las siguientes figuras, donde se compara la situación de información de dos fuerzas en dos escenarios bien distintos: un conflicto tradicional y un conflicto asimétrico. En ambos casos se puede ver la 'situación de información' para cada una de ellas y como en un conflicto asimétrico las necesidades de información de las fuerzas son dispares lo que, en opinión de muchos autores, hace mucho más necesario evaluar estos parámetros e intentar, en todo momento, optimizar la situación de información para obtener el objetivo último, la superioridad de la información.

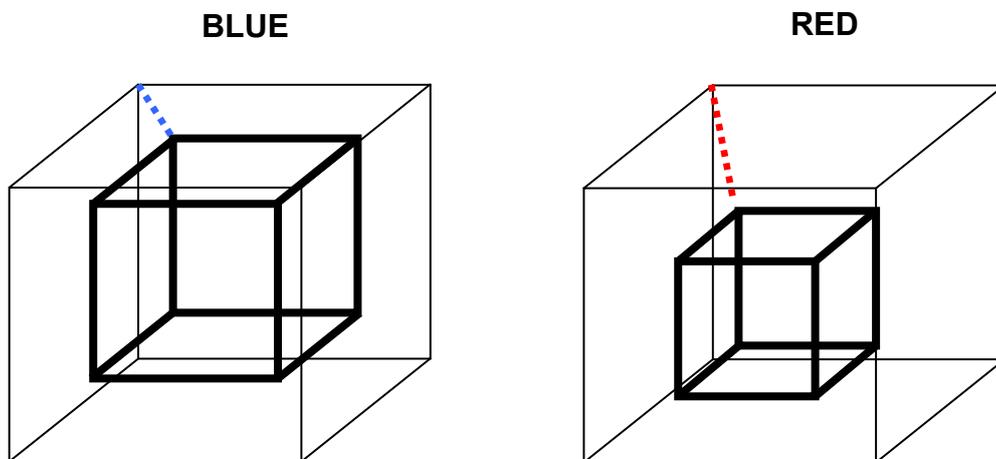


Figura 15: Conflicto simétrico: BLUE tiene mejor situación de información.

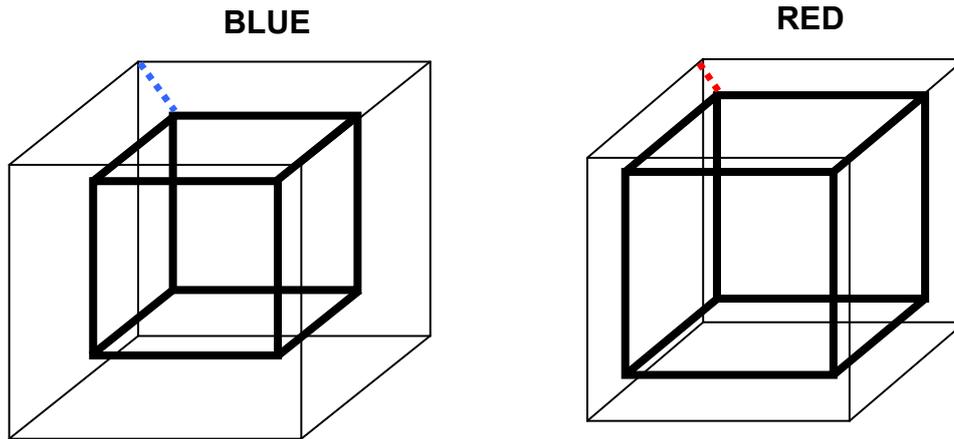


Figura 16: Conflicto asimétrico: BLUE mantiene su posición de información pero RED tiene mejor “situación” porque necesita mucha menos información que BLUE.

En el trabajo de [Per04] se plantea un modelo teórico de la calidad de la información. Se modelan conceptos del dominio de la información como la corrección, completitud, fusión, robustez y corrección en la transmisión a través de la red e información compartida. También se modelan conceptos del dominio cognitivo, reconociendo la mayor dificultad para un enfoque analítico, tanto en el aspecto individual como en el compartido. El trabajo se plantea como una primera aproximación a un modelo analítico destacándose la necesidad de una mayor profundización, sobretodo en el área de la experimentación y la correlación con datos reales que permitan un refinamiento del modelo. En el trabajo de Zhang et al [Zha04] se intentan plantear modelos basados en la teoría de la información de los conceptos expuestos para caracterizar la superioridad de la información en sistemas de mando y control particulares.

Según [Alb03] [Atk05], el concepto de agilidad de una organización se refiere a su Capacidad de adaptación en un entorno dinámico. Como se destaca en ‘power to the edge’ [Alb03], “la agilidad no surge por si sola sino que hay que fomentarla por medio de la estructura de la organización, conceptos de operación, sistemas asociados, y personal entrenado y sólo la sinergia de esos factores puede conducir a la misma”.

Dicho concepto se refiere a la habilidad de una organización para poder: 1)ser robusta manteniendo su efectividad en un amplio espectro de condiciones, situaciones y tareas; 2)ser resistente: capacidad para recuperarse de una perturbación desestabilizante del entorno; 3)ser receptiva: y tener la capacidad de reaccionar a un cambio en el entorno con un intervalo temporal ajustado;4)ser flexible: la posibilidad de implementar una solución exitosa de múltiples maneras y poder conmutar de una a otra de manera transparente;5)ser innovadora; 6)ser adaptativa: definiéndose como la capacidad para modificar modos de trabajo y poder, también, transformar la propia organización.

La agilidad, según la mayoría de autores [Atk05] [Alb03] produce un incremento en el ritmo de las operaciones y, en último término, un incremento de la efectividad. De hecho, como se destaca en [Mce06] la agilidad, como concepto NCW, siempre va asociada a la efectividad.

La agilidad es un concepto extenso. Podemos encontrar variadas definiciones de la misma en la literatura de NCW (básicamente en las publicaciones del DoD CCRP). Así, nos encontramos con las siguientes:

- “La agilidad organizacional es la capacidad de reaccionar más efectivamente en un entorno operativo altamente cambiante” (Understanding Information Age Warfare, página197) [Alb01]
- “Agilidad: ajustarse a los cambios en la situación operacional oportunamente.” (Understanding Information Age Warfare, página 217) [Alb01]
- “La agilidad es una característica clave en una organización propia de la era de la información, una característica a buscar incluso pagando el precio de sacrificar la optimización de nuestra organización en un misión o tarea” (Information Age Transformation, página 82) [Alb02]
- Ágil se puede utilizar para describir cada componente de los ‘capability packages’ de la misión de una organización, así como una organización que puede instanciar muchos ‘capability packages’ (Power to the Edge, 2003, página123)[Alb03]
- Agilidad: la habilidad de las fuerzas para adaptarse, aprender y cambiar con el objeto resolver las amenazas que afrontan. (The Agile Organization, página164) [Atk05]
- La agilidad presupone acciones efectivas e implica un cierto grado de autosincronización. (Understanding Command and Control, página 201) [Alb06]

Lógicamente hay trabajos como el de [Mce06] que buscan desarrollar un modelo conceptual de la agilidad en C2 así como métricas sobre las que trabajar analíticamente. En dicho trabajo se principalmente se identifican las dificultades para llevar a cabo una aproximación analítica aunque se indican las líneas de trabajo que se prevé a seguir.

En [Dod06] se destaca que hay tres tipos de agilidad:

- **agilidad operacional** que es la que refleja la consecución de estados finales por parte de una organización (medidos en términos relativos de tempo operacional)
- **agilidad organizativa** que refleja los medios que una organización posee para obtener agilidad operacional (en particular la capacidad y la flexibilidad estructural de dichos medios)
- **agilidad de mando** que refleja la habilidad y voluntad para usar los medios existentes en la consecución de las metas deseadas.

En [Dek06a] la noción de agilidad se extiende con nuevos matices particularizados a determinados contextos, en concreto:

- Agilidad Táctica/Operacional: que se refiere a la habilidad para responder a entidades hostiles antes de que constituyan una amenaza. Esto implica: a) calidad de sensores para percibir los sistemas hostiles, en particular su rango y probabilidad de detección; b) la calidad ejecutiva de la cadena global para, dado el caso de un enfrentamiento, tomar las decisiones oportunas y las acciones adecuadas; c) capacidades para poder conmutar modos de operación y el rango dinámico de los mismos.
- Agilidad de organización: que se refiere a la habilidad de responder a nuevos tipos de amenazas por medio de reconfiguraciones estructurales.
- Agilidad en el despliegue: que se refiere a la habilidad para transportar una fuerza a una ubicación (posiblemente inesperada)
- Agilidad de mantenimiento: que se refiere a la habilidad de las unidades desplegadas de poder llevar a cabo un conjunto de acciones sin verse limitadas por las

restricciones logísticas.

- Agilidad de adquisición: que se refiere a la habilidad de los mandos de las organizaciones para prever amenazas futuras decidiendo que capacidades son necesarias para contrarrestarlas y adquiriendo la necesaria tecnología y formando convenientemente a su personal antes de que las amenazas sean reales.
- Agilidad Conceptual: que se refiere a la habilidad de los mandos de las organizaciones para mantener a éstas en estado de permanente alerta de forma que, si se prevé preciso, se replanteen las metas y modos de funcionar de la organización para generar nuevas misiones, técnicas y doctrinas. La agilidad conceptual requiere del concepto de ‘organización en continuo aprendizaje’ [Sen97] que surge de la experiencia y de una cultura organizativa de la creatividad y la innovación.

En este mismo trabajo se aportan una serie de métricas para la agilidad, agrupadas en: i) métricas de agilidad física (como rangos y capacidades de sensores y actuadores); ii) métricas de agilidad de la información (como precisión o probabilidad de detección, conectividad de nodos, robustez de la red); iii) métricas de agilidad de organización (nivel de entrenamiento y experiencia, habilidad de las unidades para interoperar, etc.)

Dekker, un teórico de los sistemas complejos y fuertemente acoplados ha desarrollado una serie de herramientas de simulación, como el proyecto CAVALIER [Dek06b] basado en agentes *data farming* que le han permitido evaluar la viabilidad de modelos más ágiles respecto a otros más rígidos con resultados positivos.

En las siguientes figuras se puede ver ejemplos de mando y control con un mayor o menor grado de agilidad respecto a una serie de variables de interés [Est06]:

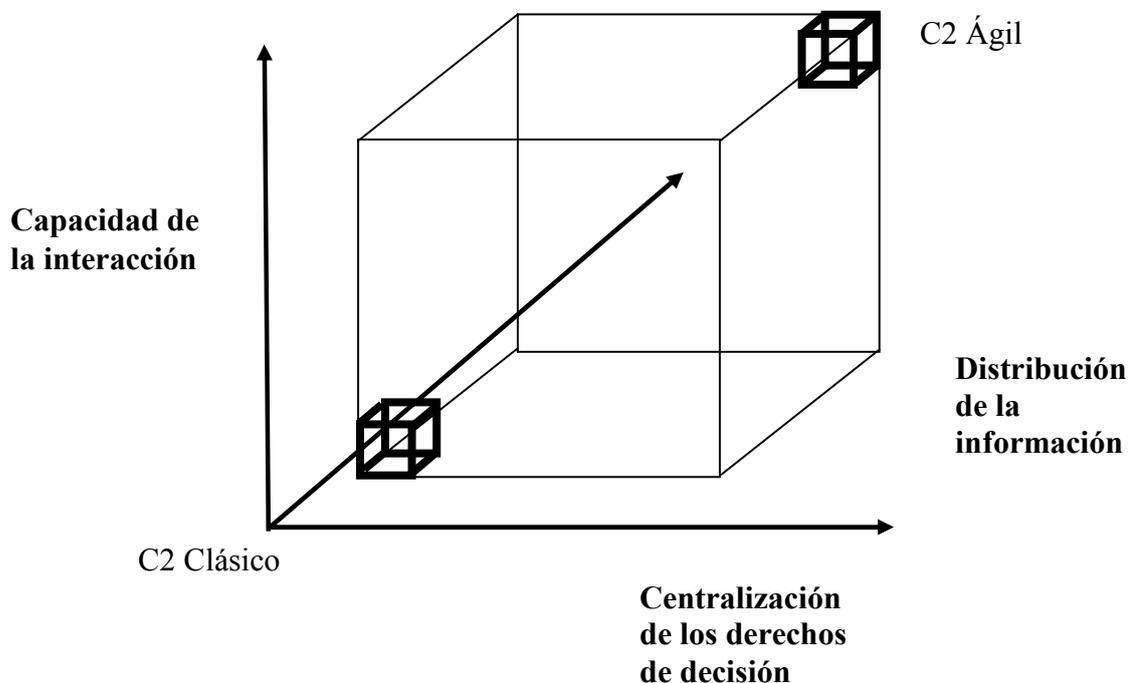


Figura 17: C2 clásico vs. C2 ágil. Dimensiones: centralización de los derechos de decisión, capacidad de la interacción y distribución de la información.

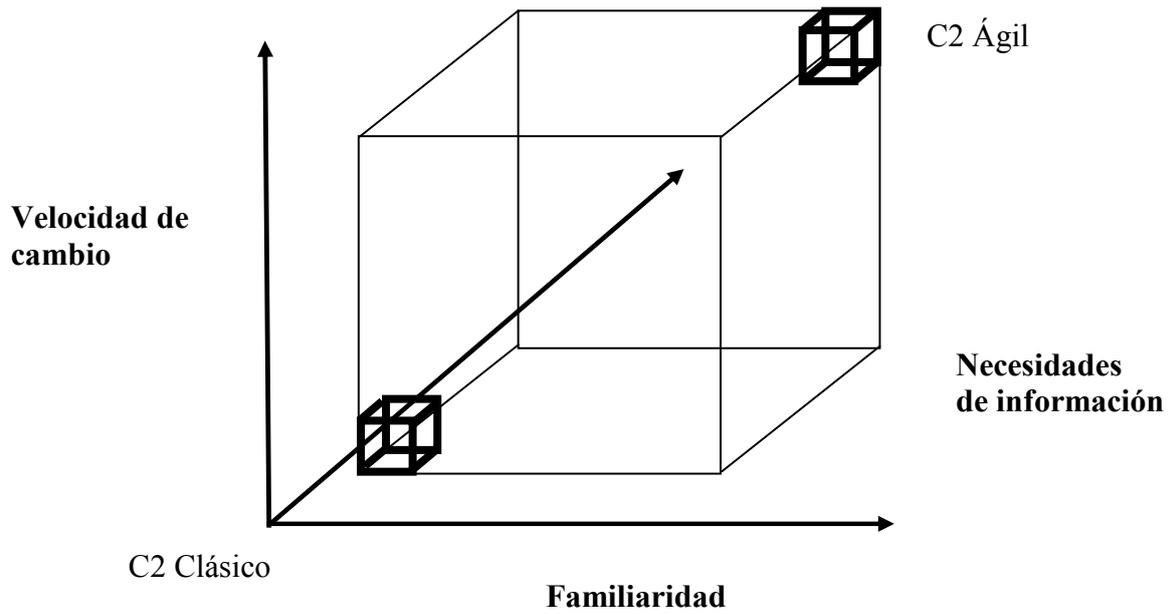


Figura 18: C2 clásico vs. C2 ágil. Dimensiones: familiaridad, velocidad de cambio, necesidades de información.

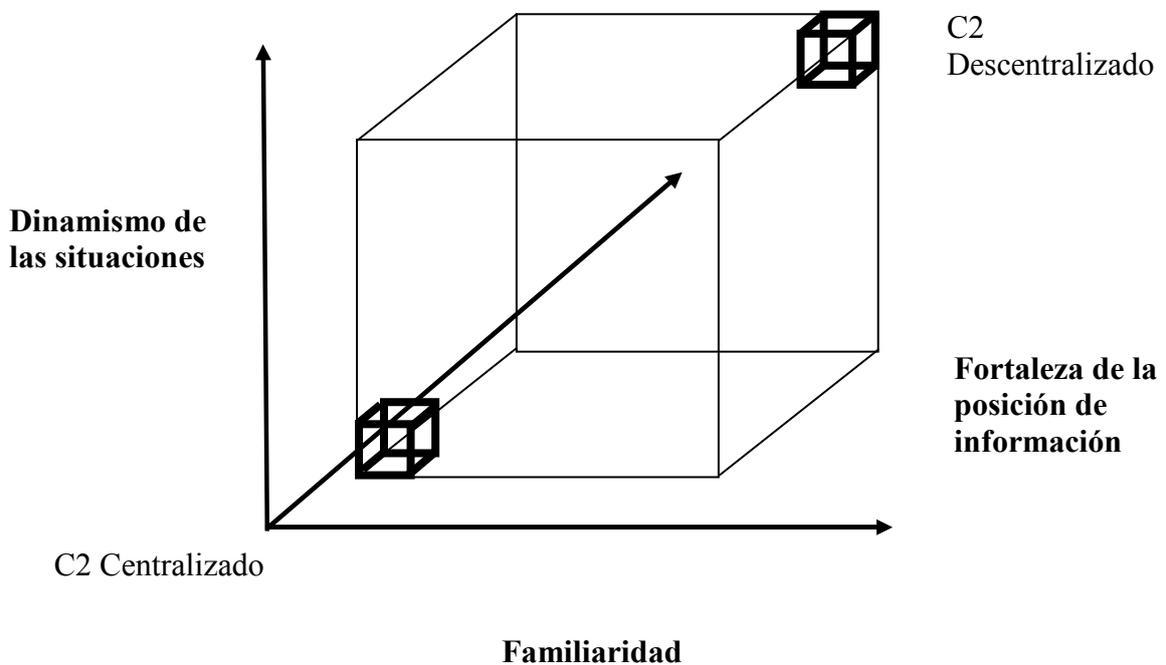


Figura 19: C2 centralizado vs. C2 descentralizado. Dimensiones: familiaridad, dinamismo de las situaciones, fortaleza de la posición de información.

Otro concepto importante y, como se ha visto previamente, consecuencia directa de los principios de NCW así como elemento fundamental a la hora de obtener el objetivo final de la efectividad en la misión, es el de la autosincronización. Ésta se define en [Est06] como “la sincronización de dos o más fuerzas o equipos de combate del mismo nivel en ausencia de control por parte de un nivel superior”. En el mismo trabajo se precisa que la autosincronización requiere, para llevarse a cabo un completo entendimiento de las intenciones de mando por parte de todos los agentes implicados, una elevada calidad de la información, una conciencia compartida de la realidad entre las fuerzas, un elevado grado de competencia y entrenamiento de las fuerzas y confianza en la información, en los superiores, en los inferiores, en los iguales y en los medios disponibles.

Si bien estas definiciones son las reconocidas como estándar en la comunidad de autores que ha generado el concepto (DoD CCRP y autores asociados) y asociados, sin embargo ha otras muchas definiciones debido a que no se ponen de acuerdo en la etiología, el alcance, los medios suficientes y necesarios para conseguir la autosincronización, los modelos más adecuados para representarla, estudiarla, poder someterla a análisis y dar métricas, etc. Esto es debido a la complejidad del concepto y a la variedad de explicaciones que se dan del mismo desde distintas teorías. En cualquier caso, recogidas de los autores del DoD CCRP podemos encontrar las siguientes definiciones complementarias:

- Según Alberts en “Campaigns of Experimentation.” [Alb05] la autosincronización es aquello que enlaza la conciencia situacional compartida con la efectividad en la misión.
- Según Cebrowski y Gartska en “Network Centric Warfare: its origin and future” [Ceb98] la autosincronización es la habilidad de una fuerza, con la premisa de estar dotada de un buen sistema de información, para organizarse y sincronizar actividades de campaña complejas, partiendo dicha habilidad de escalones inferiores de la jerarquía.
- Kruse y Younger [Kru05] enfocan el concepto hacia la coordinación de actividades incluso a nivel individual.
- Araki [Ara99] describe la autosincronización como hacer lo adecuado en el momento oportuno sin haber recibido una orden explícita al respecto.
- Ahvenainen [Ahv03] define la autosincronización como el alcanzar las metas de una organización sin líderes o con muchos menos que en una organización jerárquica.

Se puede observar que las definiciones son amplias apuntando lo extenso y complejo del concepto. Sin embargo, no ha habido demasiados estudios científicos respecto a ese termino, o al menos estudios que presenten modelos y validaciones formales de los mismos, no solo conjeturas o validaciones basadas en evidencias cuya relación causal con el modelo no es muy rigurosa.

Así, Alberts, en “Understanding command and control” [Alb06] afirma “la magia de NCW es la autosincronización” pero, qué se entiende por emergencia? porqué se habla de magia y no se plantea un modelo formal para explicar ese fenómeno?

El mismo autor, en [Alb05] responde a estas preguntas afirmando que “al igual que ocurre con el concepto de conciencia situacional compartida, el concepto de autosincronización es difícil de formalizar y definir cuantitativamente”.

Como se afirma en [Bez06] “la importancia que se le atribuye a la autosincronización en la literatura contrasta claramente con lo poco que se puede afirmar acerca de su naturaleza y la práctica inexistencia de modelos para describirla”. Estos mismos autores afirman que, si de verdad se desea desarrollar un cuerpo de conocimiento serio alrededor de la autosincronización, se debe ir más allá de la descripción de ‘anécdotas’ y ‘hallazgos’ cualitativos. De hecho, el propio Alberts en [Alb05] destaca que hay una necesidad considerable de una aproximación más formal y sistemática al concepto. Como se destaca en un estudio [Gon07] sobre coordinación y auto-sincronización en personal militar de aviación quienes luego verificaron la ocurrencia del fenómeno en cuestionarios, se sabe que el fenómeno sucede pero no existe una caracterización del mismo ni unas métricas, ni tan siquiera grosso modo.

Los autores que desde el CCRP más han trabajado sobre el concepto de autosincronización, Atkinson y Moffat, han intentado utilizar como paradigma o formalismo sobre el que sustentarlo el de la teoría de la complejidad [Joh01] en el ámbito de de sistemas dinámicos [Lue79]. Esto se puede ver en los trabajos de Moffat, “Complexity theory and the NCW” [Mof04], así como en “The agile organization” [Atk05] y en [Cos03] y en [Ceb98].

Básicamente, el planteamiento que se lleva a cabo es que si se dan las condiciones adecuadas, sistemas que interactúan fuertemente y que tienen patrones de comportamiento aislados 'y simples' pueden llegar a conducir a la emergencia de patrones de comportamiento globales y complejos sin que ningún plan global los haya propiciado intencionalmente, simplemente por la interacción de dichos patrones locales y simples. Esto es, se requiere una elevada conectividad entre nodos, no necesariamente todos con todos, y una serie de condicionantes o condiciones de contorno adecuadas (por ejemplo la confianza entre agentes, o el conocimiento de las intenciones del mando) determinaran o primarán unos patrones sobre otros que emergerán en la interacción y con el transcurrir del tiempo (sobre el cual, por otra parte no se suele poder dar cotas). En el trabajo de Atkinson y Moffat se destaca que premisas básicas para esta emergencia es que el sistema sea abierto (en el sentido que se le da en la termodinámica), y que tenga un número suficiente de grados de libertad para acabar generando esta complejidad.

Sin embargo, la pregunta que se hacen muchos autores es: cómo se relaciona lo anterior y cómo esos modelos permiten explicar las evidencias empíricas de la aparición de la autosincronización que en muchos estudios se constata así como el formalismo teórico que sobre la autosincronización y su importancia en todo el entramado de NCW han desarrollado Alberts y otros autores?

Por otra parte, en el trabajo de [Bez06] se destaca que en la explicación que se propone en los trabajos de Moffat se peca de un cierto reduccionismo intentando explicar todos los fenómenos experimentados en términos de atractores caóticos, autómatas celulares y modelos matemáticos de ecosistemas aplicados a las redes de comunicaciones y los flujos de

información, sin tener en cuenta factores humanos, de organización y del propio mando y de control.

De esta forma, en los trabajos anteriormente citados se intenta explicar el concepto con la aproximación de la emergencia de comportamientos globales altamente estructurados a partir de comportamientos simples como los que se dan en colonias de hormigas o termitas, enjambres de pájaros, sistema inmunológico, construcción de ciudades, etc.

Sin embargo, [Ara99] destaca que la autosincronización en mando y control trata de flujos de información, planes de acción, cadenas de mando e intenciones de los comandantes. Según él nada de eso está presente en los ejemplos de swarming y de emergencia de comportamientos complejos a partir de la interacción de patrones de comportamiento simple entre agentes.

En cualquier caso, como se comentaba previamente, lo que sí existe es una clara evidencia empírica de que el fenómeno se produce. Muestra de ello son ejemplos de estudios que se encuentran en la literatura como el de [Gon07] sobre una brigada de combate aéreo.

Es decir, en este estudio, y con un grado de contraste empírico, se incide en la naturaleza emergente del fenómeno, no había una planificación previa. En este mismo estudio se intentó dar unas métricas de autosincronización por medio de confrontar a una unidad tradicional y otra NCW (y con los requisitos para que se produjese la autosincronización) ante un mismo escenario, tomándose medidas del rendimiento en cada caso del tipo del ratio bajas enemigas respecto a propias, calidad del situational awareness, velocidad de mando, calidad de decisiones y sincronización de acciones. En este trabajo se vio que el rendimiento de la unidad NCW era mejor pero también se destacó la dificultad de dar métricas cuantitativas de situational awareness. Otros estudios empíricos en esta línea fueron [Kru05] y [Adk03], con resultados bastante similares. Sin embargo es de destacar que la mayoría de medidas fueron cualitativas. Otra aproximación, presente en la literatura, es llevar a cabo un estudio teórico de un evento pasado como batalla de Trafalgar o la batalla de las Árdenas, ambos de Alberts y Hayes.

La confianza parece ser un elemento muy importante para la autosincronización, según concluyen algunos de éstos trabajos empíricos. Así en el trabajo de [Atk05] se destaca como una de las conclusiones que, debido al incremento de la incertidumbre en los teatros de operaciones, la confianza es prioritaria para poder conseguir algún grado de autosincronización. Esto mismo se afirma en el trabajo de [Bla04a]. Otro factor que se considera fundamental para poder adquirir una adecuada autosincronización es el liderazgo, tal y como se afirma en [Gon07]. El tipo de misiones actuales requieren un elevado grado de habilidad, de efectividad temporal y de colaboración entre comandantes por lo que las dotes de liderazgo de cada uno de ellos deben ser considerables. Además, tal y como se propone en el trabajo de [Sti03], nuevas dotes de liderazgo son necesarias para la autosincronización. Particularmente, la habilidad para delegar, la habilidad para comunicar las intenciones y la capacidad para asumir los riesgos inherentes a esa delegación. El tercer factor que se considera fundamental para favorece la autosincronización es el de tener modelos mentales compartidos.

En el trabajo de Wesensten, Belenky y Balkin [Wes05] se afirma que la autoorganización en grupos de trabajo en entornos complejos es un proceso que deviene tarde o temprano de manera natural y con una aproximación de bajo a arriba. En el caso de la autosincronización afirman que se refiere a la comunicación no verbal que se establece durante el proceso.

Como se afirma en [Alb05] los resultados de una correcta autosincronización son una mayor velocidad de mando y una mejor adaptabilidad. Este tiempo operacional incrementado es el mayor beneficio de la autosincronización, como se destaca en gran parte de la literatura. El incremento en el tiempo operacional nos permite tomar la iniciativa en la lucha al adelantarnos al enemigo en su bucle OODA e impedirle acabar sus iteraciones satisfactoriamente.

En el trabajo [Bez06] se llevaron a cabo entrevistas con mandos de larga experiencia para recabar sus impresiones y experiencias sobre el concepto y su aplicación. Es de destacar que ninguno de estos oficiales estaba al tanto de los conceptos tal y como se definen en la literatura de forma que no estaban contaminados por ideas previas. Todos los entrevistados consideraron la autosincronización como un elemento fundamental a la hora de cumplir satisfactoriamente con una misión. Curiosamente, en tres de las entrevistas se afirmó que la autosincronización siempre partía de un evento o incidente inesperado, como señalando que no podían encontrar una pauta clara. Por otra parte, uno de los entrevistados afirmó que en su opinión la autosincronización era un comportamiento que se producía de manera natural si se daban las condiciones adecuadas y que las organizaciones debían favorecer este tipo de comportamiento tanto como pudieran. En el trabajo se destaca la coincidencia con el formalismo matemático de la teoría de sistemas, es el entorno y la interacción los que acaban conduciendo a la emergencia de propiedades. En este mismo trabajo los entrevistados destacaron que el conocimiento de la intención de los comandantes era un elemento fundamental para la autosincronización. Los superiores deben asegurarse de que sus subordinados entienden esas órdenes y a ser posible las anticipan. Esto implica comunicaciones buenas y modelos mentales previos compartidos. Por otra parte destacaron que los comandantes deben delimitar a sus subordinados hasta que punto tienen libertad para actuar autónomamente. Por otra parte se destacó la conciencia situacional como elemento clave para conducir a la autosincronización. En palabras de un comandante: “tener un conocimiento completo y preciso de lo que ocurre en la zona de operaciones y estar al tanto de que recursos existen y necesidades surgirán para anticipar eventos futuros”. Respecto a la confianza entre oficiales, algunos comandantes resaltaron que el conocimiento acerca de las capacidades y experiencia de los otros era esencial.

En resumen, el concepto de autosincronización es un área abierta de investigación, no sólo su aplicación al mando y control sino los formalismos subyacentes que permitirán una mejor explicación y predicción y, lógicamente, su aplicación a otras áreas.

Existen estudios que critican abiertamente a NCW, principalmente por los siguientes factores: complejidad, poca base formal subyacente, plantear haber descubierto un cambio radical en el mando y control y demostrarlo a partir de concepciones y premisas no demostradas suficientemente.

Así, algunos estudios [GAO08] destacan los desafíos técnicos existentes a la hora de implementar arquitecturas que soporten plenamente muchas de las características de NCW. Así, se destaca como principal dificultad la escalabilidad de una red tan vasta como la propuesta en GIG, aunque eso no es una demanda estricta de NCW. Otro problema que se

destaca es la complejidad y estancamiento que está experimentando el programa Joint Tactical Radio System (JTRS) y el asociado Software Defined Radio (SDR), como vehículos para hacer transparentes los medios radios subyacentes. En cualquier caso existen soluciones para interconectar distintos medios radio tácticos de manera transparente sin tener que pasar por JTRS o SDR. Por otra parte, otro punto que se destaca en estos estudios es el hecho de que existen diversos dominios de seguridad en las redes militares y que, si bien existen diversas soluciones para transportar información entre dominios con diferente nivel de seguridad, ésta no es una cuestión del todo resuelta. Otro problema que se destaca es el de asignación de frecuencias en el campo de batalla, aunque en cualquier caso ésta es una cuestión inherente a las radiocomunicaciones y no a una implementación de NCW. Otro problema que se señala por resolver, es el de la geolocalización de unidades, pues la excesiva dependencia de GPS se destaca como problemática. Finalmente, el último punto que se destaca por resolver, es el de la interoperabilidad entre sistemas a todos los niveles, de forma que se posibilite plenamente la interconexión de los mismos en el concepto NCW.

Otros estudios, como por ejemplo el llevado a cabo por CSR para el congreso estadounidense en 2007 [Wil07] dudan del paradigma NCW por considerarlo algo muy vasto, muy complejo, que no está fuertemente probado ni respaldado por procedimientos formales y estrictos y que siendo una tendencia muy en boga, mucha gente está siguiendo ciegamente como la nueva panacea. De todas formas, como se destaca en este mismo estudio, se valora positivamente y se considera como la aproximación a seguir en los próximos años, pese a todos los problemas señalados.

Como se ha visto en puntos previos de este estado del arte, a lo largo de la historia, la confianza mutua entre comandantes ya sean de igual rango y fundamentalmente de un superior a sus subordinados ha sido pieza clave en muchas modalidades de mando y control como elemento a partir del cual articular el mismo. Esta misma concepción se refuerza en los trabajos teóricos del DoD CCRP, fundamentalmente en [Alb03] como una necesidad aun mayor en arquitecturas donde los elementos tecnológicos cobran mayor peso. Por otra parte, relacionado con esto, ha surgido el concepto de la ‘confianza operacional’ entendida como “la confianza agregada que es requerida por cada agente para orquestar y llevar a cabo una misión” [Bla04a] [Bla04b]. Así los comandantes deben confiar en el correcto cumplimiento de los pilotos de combate, los cuales a su vez confiarán en la información de ‘targetting’ que reciban, etc, en definitiva, debe haber una confianza total entre las distintas partes de una operación y a su vez todos deben confiar en que todos siguen unas mismas normas (por ejemplo las mismas ROE) y entienden las intenciones de sus superiores. En este mismo trabajo se dan recomendaciones en procedimientos y flujos de información para poder fomentar la confianza operacional. Otros trabajos como [Kru05] [Kem03] inciden sobre la importancia de este punto y su relación con NCW viendo su aplicación y problemática en situaciones reales. En el primer trabajo se estudia su incidencia en grupos de vuelo de la armada estadounidense, mientras que el segundo describe una metodología para fomentar dicha confianza en el ejército de tierra USA dentro de un contexto también NCW.

2.4 Arquitecturas y frameworks para mando y control

Debido a ser sistemas tan genéricos (C4ISR como arquitectura de arquitecturas, tal y como se la define en el framework del departamento de defensa de los Estados Unidos(DoD)[C4I97]) engloban gran número de áreas dentro de la informática y las comunicaciones: sistemas de tiempo real, middleware, agentes software, técnicas de calidad de servicio, multimedia, sistemas y protocolos de comunicaciones, redes de sensores, sistemas embebidos, sistemas operativos, fusión sensorial, inteligencia artificial y un amplio etcétera.

Según las versiones originales del Modelo de Referencia del framework del DoD, la arquitectura de sistemas C4ISR estará compuesta por 3 planos: 1) operativo: descripción de las tareas y actividades de los elementos operativos del sistema, así como del flujo de información entre los mismos(OV: Operational View), 2) sistemas: descripción de los sistemas físicos y lógicos, así como de sus interconexiones (SV: Systems View), 3) tecnológico: componentes y estándares involucrados en la implementación del sistema (TV: Technical Standards Views).

La definición de una arquitectura consiste en generar una serie de productos para cada plano que lo describen inequívocamente. Además existen una serie de matrices para cada plano que permiten llevar a cabo un seguimiento de la interrelación los distintos productos. Actualmente el Dod exige el seguimiento de su aproximación el los productos que se pretenden adquirir.

En las nuevas versiones de la arquitectura [C4I07] se ha añadido una vista extra denominada *all view* (AV) que facilita productos y herramientas para una descripción global de la arquitectura que se esta desarrollando.

En las actuales versiones existen 29 productos para las cuatro vistas que se descomponen en: 2 productos all view AV-1 visión general y resumen, AV-2 diccionario integrado; 9 productos operational view OV-1 grafico del concepto operacional a alto nivel, OV-2 descripción de la conectividad de los nodos operacionales, OV-3 matriz de intercambio de información operacional, OV-4 tabla de relaciones organizativas, OV-5 modelo de actividad operacional, OV-6a Modelo de reglas operativas, OV-6b descripción de transiciones entre estados operacionales , OV-6c descripción de traza de eventos operacionales, OV-7 modelo lógico de datos; 16 productos de systems view: SV-1 Descripción de interfaces de sistemas, SV-2 descripción de comunicaciones, SV-3 matrices sistemas-sistemas, servicios-sistemas y servicios-servicios, SV-4a y b descripción funcional de sistemas y servicios, SV-5a b y c matrices de trazabilidad de operaciones a sistemas y servicios, SV-6 matriz de intercambio de datos entre sistemas y servicios, SV-7 matriz de parámetros de rendimiento en los sistemas, SV-8 descripción de la evolución en sistemas, SV-9 previsión de evolución tecnológica, SV-10a modelo de reglas en sistema, SV-10b descripción de transiciones entre estados, SV-10c descripción de la traza de eventos, SV-11 esquema físico; 2 productos de technical standars view : TV-1 perfil de estándares técnicos, TV-2 previsión de estándares técnicos.

Sólo son exigibles los productos correspondientes al perfil mínimo que tiene ocho productos: AV-1 visión general y resumen, AV-2 diccionario integrado, OV-1 grafico del concepto operacional a alto nivel, OV-5 modelo de actividad operacional, OV-2 descripción de la conectividad de los nodos operacionales, OV-3 matriz de intercambio de información

operacional, SV-1 Descripción de interfaces de sistemas, TV-1 perfil de estándares técnicos.



Figura 20: Framework C4ISR

La OTAN tiene estandarizado un framework sobre arquitecturas C3 que desarrolló a partir del norteamericano. En concreto, es la denominada Arquitectura Técnica de Mando y Control OTAN, NATO C3 Technical Architecture (NC3TA), que se corresponde al STANAG 5524 [STA5524]. En este trabajo se inspiran la mayor parte de las arquitecturas técnicas de los países miembros de la organización.

En otros países existen aproximaciones similares como es el caso de Francia con la arquitectura AGATE (Atelier de Gestion de l'ArchITecture des systèmes d'information et de communication) [AGA05] desarrollada por la Delegación general para el Armamento (DGA), MODAF [MODa] promovida por el ministerio de defensa del Reino Unido o España donde el ministerio de defensa dentro de la inspección General CIS (IGECIS) ha sacado adelante la denominada Arquitectura Técnica Unificada (ATU) [ATU] si bien esta es una aproximación mucho más simplificada que se limita a dar normas y recomendaciones en los estándares y productos a utilizar en las vistas técnica y de sistemas.

Es de destacar que el framework C4ISR del Dod ha sido aplicado también al ámbito civil, en concreto la arquitectura se ha aplicado a determinadas agencias del departamento del tesoro de los estados unidos, como se puede ver en [Tho00].

2.5 Sistemas para pequeñas unidades.

La taxonomía de grano más grueso que se puede llevar a cabo en los sistemas de mando y control es dividirlos entre sistemas de mando y control de Gran Unidad (GU) y sistemas de mando y control de Pequeña Unidad (PU). Esta división es equivalente a la que se puede hacer entre sistemas de mando y control de nivel estratégico y de nivel táctico y en ambos casos se fija la línea divisoria en el nivel jerárquico de batallón, ubicándose el nivel de resolución de los primeros por encima del mismo y el de los segundos por debajo. Dentro de estos últimos, objeto de estudio de la presente tesis, podemos encontrarnos diversas clases de sistemas, fundamentalmente: Battlespace Management Systems (BMS), sistemas de seguimiento de fuerzas propias o Friendly Force Tracking (FFT) y sistemas de seguimiento del desembarcado o soldado individual.

Si bien no hay una clasificación clara y no ambigua que diferencie claramente las características, competencias y atribuciones entre los sistemas de mando y control de pequeña unidad de forma que quede claramente especificada la frontera entre las aproximaciones existentes, habitualmente se considera a los sistemas tipo seguimiento del desembarcado como sistemas intra-pelotón para la gestión únicamente de soldados individuales dentro de un pelotón, generalmente con medios para propagar toda esa información hacia niveles jerárquicos de red superiores y a su vez poder recibir ordenes y otros tipos de información. Dichos sistemas suelen consistir en una equipación extra (sistemas de cómputo con la filosofía weareable computer, sensores, sistemas de comunicación radio, etcétera) con la que se dota al desembarcado y que, junto con el despliegue de una red radio, permiten al jefe de pelotón ejercer el mando y control sobre su unidad. Opcionalmente se le permite al soldado individual acceder a parte de la visión del teatro de operaciones, siempre evitando la sobrecarga de información y la interferencia con el desempeño de sus tareas. Dichos sistemas suelen integrarse en los sistemas de nivel superior FFT y BMS.

En un nivel jerárquico superior se encuentran los sistemas Friendly Force Tracking (FFT) que abarcan desde el vehículo de pelotón, o incluso el desmontado individual, hasta el nivel de batallón y que consisten básicamente en uno o varios medios de transmisión tácticos, un sistema de posicionamiento y un dispositivo computacional donde se ejecuta la aplicación de seguimiento de fuerzas propias que permite a los comandantes tener una visión de la ubicación de sus fuerzas veraz. Estos sistemas permiten a los comandantes hacerse una visión muy rápida y actualizada de lo que está sucediendo en el teatro de operaciones, en tiempo cuasi real, dependiendo de las limitaciones de propagación de los medios radio utilizados, constituyendo sistemas de mando y control muy ágiles y sencillos, adecuados a un entorno operativo táctico donde la situación puede cambiar radicalmente en cuestión de minutos. Estos sistemas han cobrado mucho auge en los últimos tiempos, debido a la transformación experimentada en las características de los escenarios, enemigos y tipos de operaciones, así como su elevada funcionalidad en la evitación del fuego fratricida.

En el mismo ámbito jerárquico que los sistemas FFT se encuentran los sistemas BMS. Éstos últimos tienen características similares a los FFT puesto que permiten a los comandantes hacerse una visión del teatro de operaciones, pero poseen toda una serie de funcionalidades extra que los hacen más complejos y con más posibilidades operativas. Cabe destacar que dichos sistemas permiten una gestión completa de una operación, no sólo el seguimiento de fuerzas propias. Para ello facilitan herramientas para la designación de líneas tácticas, la

generación automática de órdenes (FRAGO), la preparación de misiones, utilización de superponibles, inclusión de elementos de logística, herramientas colaborativas y mensajería preformateada, entre otras.

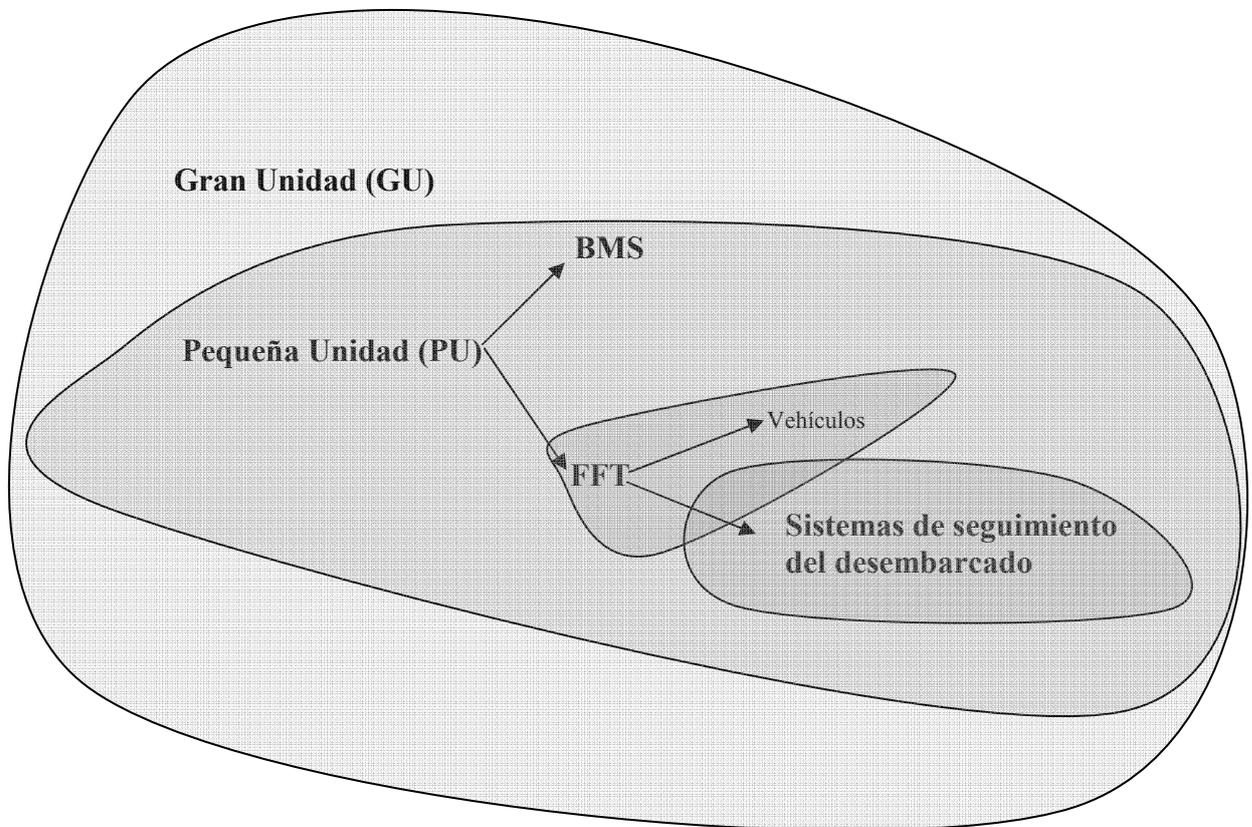


Figura 21: Taxonomía de los sistemas de mando y control de pequeña unidad.

2.5.1 sistemas de seguimiento del desembarcado

El ejército de Estados Unidos está embarcado en el proyecto *Objective Force Warrior* [OFW], sucesor del proyecto *Land Warrior*. En el mismo, las comunicaciones contemplan canales de bajo ancho de banda, por lo que no hay video de calidad en tiempo real y el puesto de mando y control hace un seguimiento por GPS de los operativos. Una versión a más largo plazo de este mismo proyecto es el denominado *Future Force Warrior* [FFW]. Un proyecto similar es el del ejército del Reino Unido *Future Integrated Soldier* [FIS] llevado a cabo por Thales UK, entre otros. Es bastante similar al estadounidense, adoleciendo de video e incorporando mecanismos para la adquisición y seguimientos de blancos. Además incorpora la arquitectura de comunicaciones Bowman, que cubre un amplio rango de comunicaciones HF, VHF y UHF. En la misma línea de la adquisición y seguimiento de blancos está el proyecto del ejército francés FELIN [FEL] incorporando GPS en cada operativo, el sistema alemán IDZ [IDZ] y el del ejército australiano Project Lan 125 [LAN], el más limitado de todos. El sistema IDZ, desarrollado por EADS Alemania y Rheinmetall-Detec, incluye además en la arquitectura global UAVs, en concreto los sistemas de video Aladin y MIKADO cuyos streams de video se podrán reproducir en las PDA de los soldados, y está prevista su implantación en una fecha no determinada entre 2010 y 2014.

En España, el proyecto Combatiente del Futuro (COMFUT), incorpora sistemas de ayuda al seguimiento de blancos, visión nocturna, módulo NBQ, geolocalización del desmontado y de unidades contactadas visualmente así como visualización de la situación en el casco del desmontado.

El proyecto del ejército Sueco MARKUS [MAR] es, probablemente, el más completo y ambicioso de todos incluyendo multimedia mediante HDTV e infrarrojos, GPS así como la integración de redes de sensores. De todas formas, está todavía en una fase inicial y se prevé su completa implantación a largo plazo, asociado al proyecto ROLF 2010.

Todos estos proyectos adolecen en su mayoría de no incorporar información multimedia y si lo hacen de no atender a las señales biomédicas de los operativos, centrándose más en áreas de la facilitación del seguimiento de blancos y similares. Por otra parte, los sistemas de comunicaciones son, en su mayoría, muy tácticos (radios de VHF y HF) con lo que, lógicamente, proveen escaso ancho de banda, no permitiendo la transferencia de dicha información multimedia.

Otro proyecto es el desarrollado por Ericsson Microwave Systems y el Royal Institute of Technology de Suecia denominado GALDER [Bry05], sistema de mando y control a nivel táctico que, aunque carece de vídeo, incorpora técnicas de predicción del comportamiento del enemigo, mediante particle filtering.

En el área civil, y dentro del mismo campo de sistemas de seguimiento del desmontado, se encuentran varios proyectos. En la universidad sueca de Lulea se ha desarrollado un sistema [Hal04] orientado a la difusión de eventos deportivos con información enriquecida mediante sensores (GPS, biomédicos) ubicados en los participantes, se utiliza Bluetooth y GPRS como los dos niveles de red para distribuir dicha información y transmitir a los que visualizan el evento (que actúan como puestos de mando y control pero sin capacidades de mando) esos datos para aumentar su Situational Awareness de lo que está ocurriendo. Otro proyecto muy similar, orientado a la difusión y control de eventos deportivos es Arena Project [ARE] donde los jugadores de un equipo de hockey van equipados con cámara, sensores y micrófono.

Existen otros proyectos orientados al mando y control a nivel de desmontados en equipos de bomberos. En concreto, el proyecto danés IP Firefighter [Sys03] de la empresa Systematik es muy ambicioso pero que no contempla información multimedia y por otra parte no resuelve la cuestión del posicionamiento indoor. Está ya en su fase de implantación y contempla una PDA por operativo con comunicaciones comerciales, posicionamiento y COP sobre un GIS e información biomédica así como logística de la operación (número de botellas de oxígeno disponibles, etc.)

El proyecto Info-Firefighter [Wir00], llevado a cabo por la Swedish Rescue Services Agency (SRSA) es un proyecto de mando y control aplicado a operaciones de bomberos, donde cada operativo sensoriza información que es transportada, mediante MANETs y redes civiles, a los puestos de mando y control.

2.5.2 Sistemas Friendly Force Tracking (FFT)

Los sistemas de Friendly Force Tracking (FFT) o Blue Force Tracking (BFT), como anteriormente se denominaban, deben ser sistemas de mando y control de una elevada agilidad y una respuesta temporal muy rápida, próxima al tiempo real, para el eficaz seguimiento de las fuerzas propias y sus movimientos y la evitación del fuego fratricida. Deben integrarse en los sistemas de comunicaciones existentes de la manera más transparente posible, mantener un elevado grado de disponibilidad y adaptabilidad frente a perturbaciones, implementar estándares OTAN de interconexión entre sistemas de diversas naciones/agencias (fundamentalmente NFFI (NATO Friendly Force Information) [STA5527]), y poderse integrar en los sistemas de mando y control previamente existentes. NFFI es el STANAG OTAN para el intercambio de información táctica, fundamentalmente posiciones, entre naciones. Este estándar se verá con más detalle en puntos posteriores.

El sistema FFT de referencia es el que actualmente tiene en uso el ejército estadounidense denominado Force XXI Battle Command Brigade and Below (FBCB2) [FBC] que es un sistema muy completo con comunicaciones HF, VHF y satélite integradas. Hay que destacar que se integra plenamente con los sistemas existentes, posee funcionalidades de IFF (Identification Friendly or Foe) así como mecanismos de señalización de objetivos y enemigos, soporte para el control de logística y utilización del estándar VMF (Variable Message Format) [VMF] para el intercambio de información FFT.

También existe un sistema más experimental en estados unidos denominado ABWS (ARSTRAT BFT Web Services) [ARS] que da soporte NFFI a los sistemas de mando de nivel superior como Global CCIS – Joint (GCCS-J) y JADOCs (Joint Automated Deep Operations Coordination System).

El sistema alemán German Army CCIS [GCC] es un sistema de mando y control de brigada que incorpora interoperabilidad a nivel estratégico (MIP: Multilateral Interoperability Programme) y a nivel táctico (NFFI), niveles IP1 e IP2. Tiene la capacidad de actuar como hub NFFI.

El sistema italiano BFT [CWI] es una herramienta de nivel táctico que facilita Situational Awareness con un enfoque hacia herramientas geográficas extendidas. Soporta los niveles NFFI IP1, IP2 y SIP3, así como la capacidad de actuar como hub LTIS. Existe otro sistema FFT italiano, denominado IT-BFSA (Blue Force Tracking Situational Awareness) [BFS], desarrollado por la empresa SELEX, que tiene menor capacidad en cuanto a herramientas SIG y soporta únicamente los niveles NFFI IP1, IP2 y SIP3 como cliente.

El sistema noruego NORCCIS II (Norwegian Command and Control Information System) es un sistema de mando y control de nivel de brigada que incorpora funcionalidades de FFT. En concreto posee una de las implementaciones más completas de NFFI con todos los niveles indicados en el estándar, incluido Land Tracking Information Service (LTIS), y pasarela NFFI a MIP.

El sistema de la OTAN JCOP (Joint Common Operational Picture) [JCO] es un sistema de nivel superior, mando conjunto, para la representación de la COP de distintas organizaciones. Si bien su ámbito es mucho más elevado que el nivel táctico, se ha utilizado como consumidor directo de la información NFFI en diversos ejercicios, vía la capacidad web service y SOA del perfil SIP3 del estándar NFFI. Por otra parte, la agencia OTAN

responsable del estándar de comunicación NFFI para los sistemas FFT, la Nato Command and Control Consultation Agency (NC3A), tiene desarrollado su propio sistema FFT, el denominado NATO Blue Force Situational Awareness (NATO BFSA), con, lógicamente una implementación muy completa del estándar NFFI y de sistemas de concentración y redistribución de la información, hub NFFI y LTIS.

En zona de operaciones, la OTAN utiliza un sistema FFT desarrollado por una iniciativa liderada por la empresa EMSSATCOM. Es de destacar que bastantes naciones implicadas en ISAF (Internacional Security Assistance Force), o no tienen un sistema FFT o lo tienen en estado experimental, de forma que utilizan por vía del alquiler este mismo sistema.

En Francia destacan dos sistemas principales: el desarrollado por EADS y el desarrollado por Thales. El primero, denominado IMPACT [IMP] es una solución completa basada en el uso de diversos sistemas de comunicaciones tácticos, PDA militarizada y soporte de los perfiles NFFI, aunque el perfil SOA con un soporte muy básico.

El sistema desarrollado por Thales, TBMS (Thales Battle Field Management System), está optimizado para sistemas de comunicaciones tácticos desarrollados por esa compañía, con una implementación bastante completa de los perfiles NFFI, y con funcionalidades de sistema Battlefield Management System (BMS). Esta empresa tiene otros sistemas adicionales que hacen uso de las funcionalidades FFT, utilizados en pruebas conjuntas de la OTAN, denominados SICF (Battle Command Information System) MAESTRO (Land Tactical System) y SIR (Army Regiment Information System).

El sistema rumano SICIB [SIC] desarrollado por la empresa Interactive, es un sistema de mando y control de nivel de brigada/batallón muy completo con funcionalidades para MIP en la interoperabilidad de nivel estratégico y NFFI para niveles tácticos. La implementación de NFFI es una de las más completas existentes.

Suecia tiene el sistema IS-SWERAP en una fase muy experimental, estado en el que también está el sistema danés BMD-Flex, de la empresa Systematik.

2.5.3 Sistemas Battlefield Management System (BMS)

Los sistemas BMS, como se ha comentado previamente, se ubican en el mismo rango jerárquico que los sistemas FFT pero se les presupone algunas características extra. Es de destacar que la tendencia en los últimos tiempos es a ir incorporando determinadas características de los sistemas BMS en los FFT de forma muchos sistemas FFT están incorporando funcionalidades anteriormente aceptadas para los sistemas BMS contribuyendo a hacer más ambigua la frontera.

Los sistemas BMS suelen tener una serie de características y funcionalidades que los distinguen. En concreto:

- Funcionalidades para la preparación de misiones. Planificación de rutas, definición de maniobras, funcionalidades de superponibles

- Funcionalidades para el envío y recepción de manera automática y preformateada de órdenes, reportes y asignación de tareas. Utilización de estándares MIL como SPOTREP y SITREP[STA2020]
- Funcionalidades de comunicación vocal y vía ordenes digitales automatizadas (FRAGO) con objetivos, peligros, etc.
- Herramientas colaborativas, básicamente de planificación
- Herramientas de mensajería
- Funcionalidades de control propias de un FFT básicamente el seguimiento de fuerzas propias y detección de enemigos. Mecanismos de IFF (Identification Friendly or Foe).
- Emisión de alertas ante eventos relativos al seguimiento de rutas pre-programadas correladas con los datos reales monitorizados.
- Mayor grado de información fluyendo relativa al escenario de operaciones:
 - medevac
 - datos biométricos
 - datos climatológicos
 - predicción de rutas e intenciones del enemigo.

En ese sentido algunos sistemas incorporan Decision Support Systems (DSS)

- Integración con sistemas de distintas armas, no sólo a la que se el está dando soporte. Integración con sistemas de artillería y logística, por ejemplo.

Los equipos tiene interfaces para distintos tipos de sensores y sistemas de monitorización, distintos tipos de medios radio y satélite, IFF, UAV y telémetros láser.

Para la gestión de toda la información en dicha info-esfera se ha desarrollado el denominado Battlefield Management Language (BML) [Car01a] [Bla05] [Pul07] una variante de XML para la diseminación de órdenes y reportes de manera automatizada entre nodos así como para formatear estandarizadamente la información y peticiones de la misma que fluyen entre los mismos. Las ordenes siguen el formato define por el STANAG 2014[STA2014] para la especificación de las mismas. El lenguaje es bastante simple con tan sólo una serie de primitivas básicas (ordenes, reportes e información de sensores) y se ha diseñado para que refleje la mayor parte de elementos existentes en el modelo de datos Joint Command Control Communications Information Exchange Data Model (JC3IEDM) [STA5255] que es bastante extenso y complejo de forma que se puedan llevar a cabo mapeos de una manera inmediata. El modelo de interacción entre agentes es petición-respuesta

Una extensión del mismo es Geospatial Battlefield Management Language (GBML) [Kle07] que intenta aumentar el mismo incorporando el elemento geográfico. Es de destacar que el mayor uso práctico que se le ha dado a ambos lenguajes es en el dominio de las

simulaciones y el entrenamiento como se puede ver en [Kru07].

A continuación se detallan toda una serie de soluciones existentes y en uso actualmente.

El sistema TBMS de Thales, ya comentado en el punto anterior por sus funcionalidades de FFT, es uno de los más completos con extenso soporte de BMS, generación de planes y órdenes, reportes automáticos, superponibles, soporte para un buen número de medios radio, IFF, etc.

El sistema Maria BMS [Bre03] de la empresa noruega Teleplan tiene soporte para FFT (vía NFFI), GIS con superponibles, intercambio de ordenes e información operacional así como mensajería táctica.

El sistema BattleHawk [BAT], de la empresa Chelton Defence Communications que tiene funcionalidades de seguimiento de fuerzas propias, enemigos y objetivos, así como de generación de reportes preformateados. El sistema permite la conexión de diversos tipos de sensores, incluyendo radar y sísmicos para el control perimetral.

Elbit Systems, de Israel, ha desarrollado un BMS denominado WIN BMS [ELB] que actualmente está en uso en Holanda, con un interfaz muy simple e intuitivo y orientado al seguimiento de objetivos, soporte para fuego indirecto, incorporación de información de inteligencia y logística.

La empresa de Singapur ST Electronics ha desarrollado el sistema BMS incluido en su plataforma de sistemas de mando y control y apoyo a la toma de decisiones BionixII [BIO]. Una de las características más destacadas es la facilidad para la generación de planes y la diseminación de los mismos.

El ejército Pakistání dispone del sistema Integrated Battlefield Management System (IBMS) [PAK] con funcionalidades de FFT y seguimiento de enemigos, así como soporte para BML. El sistema utiliza las principales radios tácticas en HF y VHF y está diseñado de forma que cada vehículo pueda actuar como relay de los otros.

S-TBMS [ITT] de la empresa norteamericana ITT utiliza como elemento básico de interconexión la radio SINCGARS desarrollada por la misma empresa. Posee funcionalidades de seguimiento de fuerzas propias y enemigas, generación de reportes y envío de órdenes siguiendo formatos estándar MIL así como alertas y mensajería.

TROP Battle Field Management System [TRO] es un BMS desarrollado por WB Electronics, con funcionalidades de IA para la ayuda a la toma de decisiones, superponibles, preparación de misiones, alertas y mensajería, soporte para diversos medios de comunicación tácticos, IFF y geolocalizadores láser.

CAPÍTULO 3

COMPONENTES TECNOLÓGICOS DE UN C4ISR

3. Componentes tecnológicos de un C4ISR

Los sistemas C4ISR se desarrollan e implementan utilizando una serie de componentes tecnológicos. Éstos cubren un amplio espectro de las ingenierías, aunque fundamentalmente en el área de la informática y las comunicaciones, e incluyen sistemas de cómputo, los sistemas de comunicaciones, sistemas de información geográfica (SIG), sistemas de tiempo real, sistemas de replicación de la información en escenarios distribuidos y, particularmente, en entornos tácticos, arquitecturas distribuidas orientadas a servicio (SOA) y sistemas y mecanismos de interoperabilidad en sistemas de mando y control. Como parte novedosa en el presente trabajo, también se hizo un estado del arte en el área de codificación y streaming de vídeo, al ser un campo que no suele ser integrado en los sistemas de mando y control.

En el presente capítulo se verá un estado del arte en las tecnologías relacionadas y necesarias en un sistema C4ISR, paso previo para evaluar en qué estado se encontraba la técnica en las diversas áreas implicadas y que sirvió de punto de partida para el posterior desarrollo e implementación de las soluciones propuestas en el presente trabajo. Por otra parte también se estudian las diversas aproximaciones y soluciones existentes a la hora de integrar dichos componentes tecnológicos en un sistema de mando y control.

3.1 Sistemas de Información Geográfica y Geolocalización

3.1.1 Sistemas de Información Geográfica

Los sistemas de información geográfica (SIG) han estado presentes en el mundo de la informática desde hace 25 años con el advenimiento de estaciones de trabajo con capacidades gráficas suficientes para mostrar cartografía. Estos sistemas se pueden definir como todos aquellos capaces de integrar, almacenar, analizar, editar y representar la información geográficamente referenciada. Su uso está, lógicamente, muy extendido en múltiples áreas como: gestión de recursos, catastros y explotaciones agrícolas, prospecciones geológicas, estudios medioambientales, logística, estudios de ventas, redes de distribución de materias primas, infraestructuras e ingeniería civil, etc. Y es bien claro que son un elemento fundamental en todo sistema de mando y control.

La información en dichos sistemas se suele almacenar representaciones bidimensionales de una variable dada respecto al plano de la superficie de la tierra, en distintos mapas, comúnmente denominadas capas o layers, en formato digital o bien de las características del terreno, orografía, hidrología, ... de elementos naturales como distribución de un mineral dado o rutas migratorias de determinadas aves, elementos socioeconómicos como distribución de ventas o crímenes cometidos, infraestructuras y cualquier otro elemento a estudiar referenciado a una posición espacial concreta. Los datos recabados y representados en capas suelen tener una cierta vigencia y ser considerados estáticos en el caso de ser elementos puramente cartográficos, como la ubicación de ríos o montes o bien ser dinámicos como es el caso de las rutas de distribución de una compañía de transportes.

En cualquier caso dicha información se almacena en formatos digitales que, grosso modo, se pueden descomponer en:

- Raster: cuando la información es la digitalización de una ortofoto tomada comúnmente desde satélite
- Vectorial cuando la información ha sido obtenida por diversos medios y luego se digitalizado en un formato que representa vectores (puntos, líneas y polígonos como formas geométricas básicas) asociados a esa información y a unas coordenadas.

Los formatos de tipos raster tienen una mayor facilidad de adquisición pues únicamente precisan de una toma de imágenes y su posterior georeferenciación respecto a una proyección concreta, pero tienen la desventaja de un mayor coste de almacenamiento por información almacenada (de 10 a 100 veces en promedio según algunos estudios) y el problema de que están realizados respecto a una determinada escala. Los formatos vectoriales permiten una mayor flexibilidad en el escalado y la proyección al ser el motor de representación GIS el que recalcula, en todo momento y en función de la información vectorial, los elementos a representar. Los formatos vectoriales también son mucho más adecuados para determinadas cartografías como son las de las redes de carreteras, telecomunicaciones, infraestructuras de distribución, etc.

En el primer caso los formatos informáticos más extendidos son geotiff, que es el conocido formato TIFF con metadatos espaciales, ADGR (ARC Digitised Raster Graphics) de la National Imagery and Mapping Agency (NIMA) estadounidense y su versión comprimida CADGR, Digital Raster Graphic (DRG), ECW - Enhanced Compressed Wavelet de la empresa ERMapper, MrSID - Multi-Resolution Seamless Image Database, otro formato con compresión wavelet, y JPEG2000 con extensiones geográficas.

Para el segundo caso es el formato shape (.SHP) [Esr98], desarrollado por la empresa ESRI pero liberado a toda la comunidad cartográfica, el más extendido. También destacan los formatos .DGN y DXF de la empresa AutoDesk, los formatos asociados a la extensión de XML denominada GML (Geography Markup Language), el formato TIGER (Topologically Integrated Geographic Encoding and Referencing) y Vector Product Format de la National Imagery and Mapping Agency (NIMA) para datos vectoriales de grandes dimensiones.

Para el caso de extender estas representaciones en altitud, sobre los mapas previamente citados se llevan a cabo los denominados Digital Elevation Model (DEM) que permiten tener cotas de altura y valores georeferenciados para una representación tridimensional de las variables de interés.

Como formatos destacados para estos modelos cabe destacar DEM de la United States Geography Survey (USGS) y su previsible sustituto futuro SDTS, el formato de la NIMA DTED (Digital Terrain Elevation Data) así como el formato GTOPO30.

Un elemento fundamental en cartografía es la proyección utilizada consistente en la transformación matemática que permite pasar la información de un modelo tridimensional de la superficie de la tierra a un medio bidimensional. Existen gran número de proyecciones cartográficas siendo las más utilizadas Universal Transversal Mercator (UTM), geográficas (WGS84), Miller, Lambert cilíndrica y Werner, aunque las que claramente están más extendidas son las dos primeras.

Debido a la naturaleza irregular de la tierra dichas proyecciones no son homogéneas en todos los puntos del globo requiriéndose correcciones según la zona del planeta para cada una de ellas. La entidad European Petroleum Surveyers Group (EPSG) mantiene una lista de estas proyecciones-correcciones de amplio uso en la comunidad cartográfica.

Cabe destacar como herramientas más utilizadas a GDAL (Geospatial Data Abstraction Library) [GDA] que es una librería para la transformación entre distintos formatos de datos raster georeferenciados. Implementa una capa de abstracción entre los distintos formatos. Es, prácticamente, un estándar de facto y la mayoría de aplicaciones lo utilizan. OGR [OGR] es un equivalente a GDAL pero respecto a los formatos gráficos vectoriales. Por motivos históricos, ha acabado integrada en el árbol de desarrollo de GDAL. OGD (Open Geographic Datastore Interface) [OGD] es un API para la interconexión entre las distintas aplicaciones de GIS entre ellas y con productos de bases de datos geoespaciales. Proj4.x [PRO] es la librería de proyecciones cartográficas utilizada por la mayoría de GIS. Es muy completa y soporta todos los códigos de la EPSG (European Petroleum Survey Group) [EPS].

Lógicamente, existe una relación muy estrecha entre las bases de datos y los sistemas cartográficos. Hay que destacar que los formatos más utilizados son las extensiones espaciales de MySQL [MYS], PostGIS [POS] para PostgreSQL server, las SDE para los productos de ESRI [ESR] y las extensiones espaciales de Oracle [ORA].

Por otra parte, en los últimos años y con la eclosión de las arquitecturas basadas en web services, se han estandarizado por parte del Open Geospatial Consortium una serie de formatos y modos de comunicación orientados a servicio y basados en web services para el intercambio, representación, solicitud y análisis de información georeferenciada. Así, el formato Web Map Service (WMS) define los mecanismos de comunicación a nivel de web service para solicitar una serie de restricciones contra un servidor con una base de datos de información geográfica y recibir como respuesta un mapa (raster: PNG, GIF o JPG, vectorial: Scalable Vector Graphics) dinámicamente generado. Otros servicios web definidos por el mismo consorcio y ampliamente utilizados son Web Feature Service (WFS) que devuelve datos vectoriales con los que generar los mapas o Web Coverage Service (WCS) que retorna información geoespacial mallada.

Dentro de las soluciones informáticas existentes cabe destacar soluciones de cartografía comerciales como las de las empresas Autodesk o ESRI. En el caso de ESRI, éste es el fabricante de referencia en este sector del mercado. Los sistemas GIS para software libre completos más utilizados son Grass [GRA] y Mapserver [MAP]. Debido a lo completo y potente que es éste último, existe una amplia gama de extensiones y aplicaciones derivadas del mismo, como por ejemplo Maplab [MLB], Mapserver Workbench [MSW], Localis [LOC], MapJunction [MJU] y Chamaleon [CHA]. GRASS también es un sistema de GIS muy eficiente y utilizado, aunque en los últimos tiempos está perdiendo enteros respecto a Mapserver.

Mapserver es, probablemente, la herramienta de Información Geográfica más potente y versátil de todas las existentes en el ámbito del software libre. Originariamente desarrollado por la Universidad de Minnesota en cooperación con la NASA y el Departamento de Recursos Naturales del estado de Minnesota, actualmente lo mantiene un amplio colectivo

internacional de desarrolladores, así como empresas que venden soluciones basadas en el mismo y por lo tanto están interesadas en su desarrollo.

Mapserver se apoya en un conjunto de herramientas cartográficas bien conocidas, como la librería Shapelib, Proj4.x, GDAL, OGR sobre las que se construye un entorno de desarrollo de aplicaciones SIG, orientadas al Web. Esto es debido a que el motor básico de Mapserver es un CGI que corre sobre servidores web Apache en plataformas Linux/Unix, Mac OS y Windows.

3.1.2 Sistemas de localización

Global Positioning System (GPS) es, de largo, la tecnología de localización más extendida hoy en día. Todo el mundo puede acceder, sin tarificación alguna del servicio, a la información que le brindan los 24 satélites que orbitan entorno a la parte habitada de la superficie terrestre. Podemos servirnos del sistema GPS (Global Positioning system, ejército USA) o bien del GLONASS (Global Navigation Satellite System, ex unión soviética) y mejorarlos con las constelaciones EGNOS y/o GALILEO(EU) o WAAS(USA) que extienden la precisión del servicio.

El problema principal de los sistemas de posicionamiento GPS radica en el hecho de que se necesita visibilidad directa con los satélites, con lo que en entornos indoor el sistema no funciona y se han de proveer soluciones complementarias basadas en otras tecnologías, como se comenta más adelante.

Además, la precisión del sistema base no es muy buena (10-20m de CEP: Circular Error Probability en muchos sistemas comerciales) por lo que, o se opta por dispositivos muy caros o se hace uso de las nuevas constelaciones de satélites EGNOS que proporcionan hasta 1m de precisión. Por otra parte, debido a las bajas órbitas de muchos satélites, en entornos con edificios altos, collados montañosos o muchos árboles, puede que se pierda visión directa. Una posible alternativa a ese problema es utilizar D-GPS. Sin embargo, con la aparición del servicio EGNOS se están consiguiendo precisiones de 1 o 2 metros con COTS de gama baja, como las que se han estado probando para el prototipo desarrollado en la presente tesis, incluso rodeados de edificios altos y árboles.

DGPS se fundamenta en la existencia de estaciones con posición fijada (por ejemplo ubicadas en estaciones de telefonía móvil) que envían información al sistema con receptor GPS convencional respecto a medidas de su propio receptor GPS. La estimación diferencial permite, mediante técnicas de, mejorar la precisión del GPS móvil. Su uso está recomendado para situaciones como por ejemplo condiciones atmosféricas adversas u obstáculos dispersos en las que la señal no esté extremadamente degradada caso en el que se recomienda el uso de técnicas de AGPS. El canal de comunicación puede ser GPRS (General Packet Radio Service) de GSM, aunque también en Internet se han establecido protocolos para el intercambio como

AGPS (Assisted Global Positioning System) es un sistema para mejorar las prestaciones y precisiones del sistema GPS cuando la señal de los satélites no se recibe muy degradada, como puede ser en cañones sin LOS con satélites o en entornos urbanos. El sistema se fundamenta en la utilización de receptores GPS especializados que llevan a cabo un procesado muy específico sobre la señal residual que se pueda estar recibiendo. Las partes

que no se reciben correctamente y/o no se pueden reconstruir con el procesado se complementan con información recibida de estaciones que disponen de GPS de referencia vía canales como GPRS.

Por otra parte, en los últimos tiempos han surgido gran número de sistemas de localización telemétrica integrados en sistemas de mando y control para la geolocalización de cotas y elementos móviles. Suelen consistir en una óptica de cierta calidad con opciones de visión nocturna por infrarrojos para visualizar los elementos a distancias que oscilan de los 500 metros a los 10 kilómetros, un sistema de medición de distancias, un compás de precisión para dar el ángulo en el plano respecto al objetivo y una etapa electrónica que permite enviar esa información a un computador. Las tecnologías fundamentales detrás de estos sistemas para la medición suelen estar basados en: TOF (Time of Flight) o tiempo de ida y vuelta de una señal, basados en ultrasonidos, basados en láser (los más extendidos últimamente), por desplazamiento de fase y por modulación en frecuencia.

Aunque durante mucho tiempo han existido (y todavía siguen) protocolos binarios propietarios para GPS como el Garmin o el Zodiac, se está estandarizando el uso del protocolo NMEA-0183[NME]. Desarrollado por el National Marine Electronics Association, define el interfaz eléctrico y el protocolo de comunicaciones entre un dispositivo GPS y equipos computacionales. Dicho protocolo está basado en caracteres ASCII para intercambiar comandos y datos, bidireccionalmente, entre el GPS y el computador.

Otro problema asociado a GPS (y a cualquier sistema que dependa de una señal externa) es la posibilidad de sufrir interferencias por medio de técnicas de contramedidas electromagnéticas como por ejemplo sistemas de jamming de GPS. Como contramedida a estos sistemas de jamming, el ejército estadounidense ha desarrollado el sistema RAIM(Receiver Autonomous Integrity Monitoring)[Bro92][Par96] que activamente monitoriza la naturaleza y características de las señales recibidas y determina si se está sometido a un EMI (Electromagnetic Interference) de la señal GPS o a un mal funcionamiento. Otro sistema equivalente es el SAASM (Selective Availability / Anti-Spoofing Module) integrado en el Defense Advance GPS Receiver(DAGR)[DAG] del departamento de defensa USA. Relacionado con este punto está el hecho de que, al utilizar GPS, se depende de un sistema externo y que no está bajo el control directo de la administración que promueva el sistema que desarrollemos. Por ejemplo, es bien conocido que el sistema GPS tiene una funcionalidad denominada Selective Availability (SA) mediante la cual la administración estadounidense puede, en cualquier momento, introducir errores aleatorios en la señal GPS que conduzcan a imprecisiones en la medida de hasta centenares de metros[Geo90]. La señal precisa viaja encriptada de forma que los sistemas del ejército estadounidense disponen de posición correcta, incluso si habilita el SA.

En el caso de perderse señal GPS o hacerse esta tan débil que no permita dar una posición fiable o bien aparecer contramedidas electromagnéticas que afecten a la calidad de dicha señal todo sistema FFT debe tener mecanismos alternativos, por robustez y fiabilidad, para seguir obteniendo su posición GPS. Para ello hay que diseñar los sistemas de forma que, transparentemente al usuario, conmuten su modo de funcionamiento al uso de otro sensor. Como alternativas al GPS existen gran variedad de sistemas de aplicación según el tipo de elemento a medir (desmontado, vehículo, etc.).

Sin embargo, no es fácil encontrar muchos sistemas FFT que tengan mecanismos para conmutar de un sensor de posicionamiento a otro. Destacar que de los sistemas estudiados tan sólo el sistema force XXI tenía esa funcionalidad.

Una de las razones que se pueden encontrar para esta falta de sistemas con alternativas es la complejidad que acarrearán estos sistemas respecto al poco beneficio que aportan. Esto es debido a que dichos sistemas poseen unas limitaciones considerables respecto a GPS y únicamente pueden considerarse como 'parches' limitados y para un periodo de tiempo muy concreto y en condiciones muy particulares.

Como alternativas más utilizadas cabe destacar: i) la odometría que presenta problemas considerables respecto a la planimetría ya que en función del aspecto que tenga ésta tendremos unas distancias u otras; ii) dead-reckoning mediante el uso de codificadores ópticos y sensores doppler; iii) sensores de dirección como los compases y giroscopios, usada en combinación con la odometría; iv) sistemas basados en medidas de señales radio con la triangularización como sistema general de cálculo a partir de referencias; v) navegación inercial basada en acelerómetros

Relacionado con este punto está el tema de la localización indoor. En este caso se utilizan las técnicas previamente descritas, muchas de ellas provenientes del campo de la robótica móvil. En cualquier caso, y debido a la sobrecarga de sistemas y/o limitaciones que aportan muchas de ellas, en la mayoría de soluciones existentes hoy en día se opta por soluciones basadas en rf-beacons, ya sea por medida de señal o por RTT, al ser soluciones no interferentes con la movilidad del usuario.

Si bien GPS resulta muy útil en exteriores (mucho mejor si son espacios abiertos sin demasiadas montañas y/o edificios altos o muchos árboles) no tiene ninguna utilidad en interiores donde no hay visión directa con, al menos 3 o 4 satélites. Existen técnicas recientes que se basa en los niveles de señal de la tecnología de comunicaciones subyacente para determinar la posición de los distintos nodos dentro de un entorno indoor. De esta manera integramos el transporte de información con la obtención de la localización (pagando un precio, lógicamente).

De cara a nuestro sistema esto puede resultar muy interesante puesto que en operaciones donde hay segmentos outdoor e indoor, los primeros pueden dar su posición GPS y los segundos la obtenida mediante wlan, haciéndola relativa a la exterior y obteniendo coordenadas WGS84 para nodos ubicados en indoor.

La idea principal es obtener información del nivel de señal de las transmisiones respecto a un punto conocido en todo momento, para con un buen número de muestras, determinar la posición de cada uno de los nodos. Lógicamente, esto varía según tengamos una tecnología u otra por ubicación en el espectro (2.4Ghz o 5Ghz) y por tipo de modulación (OFDM, DSSS), entre varios parámetros.

La técnica fundamental se basa en la potencia de la señal (señal, SNR, SINR, etc) recibida de un nodo que actúa como referencia de posición, por parte del dispositivo que quiere saber su ubicación. Tomando dicho valor de señal se puede deducir la posición mediante: Modelo Empírico o Modelo de propagación, que son las dos técnicas básicas.

En el modelo empírico se almacenan medidas de potencia en una base de datos de la zona a estudiar, construyéndose un mapa radio del mismo, con los pares posición-nivel de señal. Cuando un cliente desea saber su posición, obtiene los niveles de señal de los distintos AP que pudiera haber en el site y se busca la combinación de niveles más próxima para determinar la posición. Se utilizan técnicas de Nearest Neighbours, principalmente. Adicionalmente se usan también: algoritmo de Viterbi, redes neuronales, lógica fuzzy, hidden markov models, Naïve Bayes (Ekahau), etc. Esta aproximación presenta varias desventajas: i) Se requiere obtener una gran cantidad de información a priori del site, lo cual es inviable, por ejemplo, para un sistema de gestión de emergencias; ii) El entorno radio puede variar de la toma de datos al sistema en operación (por ejemplo condiciones atmosféricas, número de objetos en movimiento y/o personas) con lo que se puede perder precisión. Existen varias soluciones basadas en esta aproximación como son Amulet [Har02] sobre SO linux. Básicamente consiste en un demonio(shell script) que registra niveles de señal de los AP, un estimador basado en k-Vecinos próximos y un GUI(escrito en Java Swing). Resoluciones de 3 a 5 metros. También destacar la solución propuesta en Shin [Shi03] para PDAs y se basa en el modelo empírico de RADAR.

El modelo de propagación es un enfoque es claramente más flexible. Básicamente se elige un modelo de propagación de la señal adecuado a las condiciones del site (o bien genérico) y la distancia a un punto de referencia se puede obtener mediante el valor de pérdidas de la señal respecto al modelo de propagación. Cuando se tiene la distancia a tres puntos de referencia se pueden aplicar técnicas de triangulación para obtener la posición del dispositivo. El cálculo se hace relativo a los puntos de referencia, cuya posición (coordenadas) sí que se requiere saber, lo que viene muy relacionado con lo que se comentaba antes de indoor /outdoor. Como desventajas hay que destacar que un sistema así es intrínsecamente más complejo en consumo de CPU, recursos de almacenamiento, complejidad de los algoritmos, etc... Como soluciones basadas en este modelo cabe destacar Halibut[Kis02] considera varios parámetros de señal y modelo similar al WAF. HORUS[You02] utiliza un modelo probabilístico de propagación

Por otra parte, existen toda una serie de soluciones mixtas entre las que cabe destacar RADAR[Bah00] que es uno de los primeros sistemas de localización y seguimiento indoor basados en WLAN. El proyecto fue llevado a cabo por Microsoft Research. En el modelo empírico se utilizaba la técnica de los k-vecinos próximos mientras que para el modelo de propagación se usaba Wall Attenuation Factor (WAF) para calcular las distancias. Señalar que RADAR daba un error de estimación de 2.94 metros para M.E y de 4.93 metros para M.P.

Advanced Wavelan Positioning Project[Bis01] es una extensión de RADAR. El M.E con BD. Errores con M.P entre 7.3 y 2.8 metros

Ekahau Positioning Engine [Eka03] es una solución comercial que combina las técnicas de modelo de propagación y de modelo empírico. Es la solución más completa y potente (precisión promedio de un metro) pero tiene un coste para servidor y cuatro licencias de entorno a 4000€. Es compatible sólo con windows, aunque también windows CE (PDAs).

3.2 Sistemas de Tiempo Real

Un sistema de tiempo real es aquel en el que la corrección de los resultados no depende únicamente de la corrección lógica de las computaciones sino también del tiempo en que estas se producen [Sta88] [But97]. Si los requerimientos temporales del sistema no se cumplen, esto es, no se lleva a cabo la tarea antes del cumplimiento de un tiempo máximo o deadline, se determina que el sistema falla.

Esto conduce a la característica fundamental de los sistemas de tiempo real: éstos deben ser deterministas y predecibles en su comportamiento. Deben garantizar la corrección del comportamiento temporal tanto para el caso peor como el mejor, independientemente de la carga. No se trata de ser rápido o eficiente sino de poder dar una respuesta determinista, acotada en el tiempo. Es más, se precisa que los sistemas de tiempo real puedan demostrar su corrección temporal a priori mediante técnicas de validación.

Se pueden considerar dos tipos de sistemas de tiempo real, según sean sus requerimientos: sistemas de tiempo real crítico (*Hard real time* en la terminología inglesa) y sistemas de tiempo real no crítico (*Soft real time*). En el caso de los sistemas de tiempo real crítico los deadlines son absolutamente estrictos mientras que en el caso de los sistemas de tiempo real no crítico se puede permitir perder deadlines exhibiendo un funcionamiento degradado siempre y cuando la distribución estadística de los tiempos de respuesta sea aceptable. Como se destaca en [Est04], en los sistemas de tiempo real crítico, “el no cumplimiento de las restricciones temporales puede acarrear consecuencias irreparables para el propio sistema y sus usuarios”. En el caso de los sistemas de tiempo real no crítico, y según el mismo trabajo, “el no cumplimiento de las restricciones temporales sólo supone una pérdida de prestaciones o funcionalidades del sistema, aunque en ningún caso es deseable.”

Sin embargo, otras aproximaciones han detectado las limitaciones existentes en esa taxonomía definiéndose los sistemas con otra aproximación el concepto de tiempo útil [Gou77][Cla90][Rav05]. Básicamente, la aproximación de tiempo útil trata de paliar la limitación semántica del concepto de deadline entendido como un punto en una dimensión, introduciendo el concepto de las funciones de tiempo-utilidad y beneficio. Así la restricción temporal no solo viene limitada por el deadline sino por una función asociada a la ejecución de una tarea y que tiene un punto de inflexión en dicho deadline.

El problema fundamental en los sistemas de tiempo real consiste en la asignación de un número limitado de recursos (CPU, red, etc.) a una serie de procesos para llevar a cabo unas tareas con unas condiciones/restricciones de satisfacibilidad (SAT) muy estrictas. Para poder implementar sistemas de tiempo real existen dos aproximaciones fundamentales en las arquitecturas software [Liu73]:

- Arquitectura síncrona (ejecución secuencial): Las tareas a realizar se ejecutan en un orden preestablecido conforme a plan de ejecución fijo. El sistema operativo (en cuanto a planificación) se sustituye por un ejecutivo cíclico. Esta aproximación se caracteriza por su simplicidad, por ejemplo, no hacen falta mecanismos para garantizar la exclusión mutua ni hacen falta técnicas de análisis, la validación del sistema se lleva por construcción. Sin embargo esta aproximación se caracteriza por su rigidez: si una tarea modifica su comportamiento temporal es posible que haya que rediseñar todo el aplicativo y el manejo de tareas aperiódicas es complicado. Por otra parte, el diseño del plan es un problema NP-Completo.

- Arquitectura asíncrona (ejecución concurrente): Las tareas compiten por el procesador en tiempo de ejecución. En cada momento se ejecuta la tarea que tenga una mayor prioridad asociada. Esta aproximación engloba a una amplia familia de soluciones que se caracterizan por una mayor complejidad y como contraprestación una mayor flexibilidad respecto a las arquitecturas síncronas. Se precisan técnicas de análisis específicas para comprobar si los requisitos temporales están garantizados.

Dentro de los planificadores de tiempo real podemos encontrarnos dos tipos: planificadores estáticos, en el que la asignación de tareas – recurso se lleva a cabo antes de la ejecución; y planificadores dinámicos, donde dicha asignación se lleva a cabo en tiempo de ejecución. La planificación siempre se lleva a cabo respecto a un parámetro de relevancia correlado con el deadline, este parámetro suele ser la prioridad de la tarea a llevar a cabo. Así los planificadores suele dividirse en planificadores con prioridades fijas y planificadores con prioridades dinámicas.

La carga crítica es conocida de antemano y las prioridades se asignan antes de ejecutar. Existen varios algoritmos para la planificación de tareas por prioridades fijas, destacando *Rate Monotonic* [Leh89] en el que se asigna mayor prioridad a la tarea más frecuente y *Deadline Monotonic* [Aud90] en el que se asigna mayor prioridad a la tarea con deadline más próximo. Una característica importante de los algoritmos Rate Monotonic y Deadline Monotonic es que son óptimos, si un sistema/problema es planificable entonces lo será por Rate Monotonic/ Deadline Monotonic. En particular se observa que RM es un caso particular de DM en el que los plazos de terminación son iguales a los periodos.

En el caso de la planificación de tareas con prioridades dinámicas la carga crítica total no está necesariamente acotada y las prioridades se asignan durante la ejecución. En cada activación de una tarea se recalculan y se reasignan las prioridades. Destacan los algoritmos de *Earliest Deadline First* (EDF) [But93] donde se asigna la mayor prioridad a la tarea cuyo deadline está más próximo y *Least Laxity First* (LLF) [Yan98] donde se asigna la mayor prioridad a la tarea con menor laxitud.

Otro problema relacionado con los planificadores es la gestión de tareas aperiódicas, que son aquellas que tienen un carácter asíncrono e impredecible. Para poder tratarlas, se las debe caracterizar como críticas y no críticas. Para tratar a las primeras, se las considera como una tarea descrita por el caso peor de su deadline y del tiempo mínimo entre llegadas. Para el caso de las tareas no críticas, el objetivo es ofrecer un buen tiempo de respuesta mediante un servicio aperiódico, el cual se puede implementar mediante: servidor de polling [Wei05], servidor esporádico [Gon91], aislamiento y desacoplo entre procesos mediante el paradigma de constant bandwidth server [Abe98], e incluso aproximaciones con monitorización de estado y realimentación [Kat07], etcétera.

La asignación de recursos en planificadores suele ser una actividad con coste computacional intratable en muchos casos de aplicación al mundo real. Es por ello que también existen muchas aproximaciones heurísticas al problema de la asignación de prioridades y/o recursos siempre, lógicamente, para aplicaciones de tiempo real no crítico. Ejemplos de esto se pueden ver en [Mai95] y [Sco06][Mou08].

En el caso de establecer garantías de tiempo real en redes de paquetes el objetivo fundamental es garantizar el retardo y la varianza del mismo, denominada jitter. Para resolver este problema, las aproximaciones fundamentales son relativas a las colas de entrega de paquetes (ya sea en nodos individuales o en hardware específico de red) y en los protocolos de acceso al medio. Atacando ambos elementos es como se consigue una predecibilidad en los tiempos de entrega de los paquetes.

En el caso de la gestión del tráfico destacan las dos aproximaciones esponsorizadas por IETF:

- Differentiated services (DiffServ) [RFC2474] [RFC2475]: que es un mecanismo de granularidad gruesa basado en la clase. La unidad fundamental es el paquete que se clasifica en función del tipo de servicio al que se quiere adscribir al flujo al que el paquete pertenece. Es una aproximación simple.
- Integrated Services (IntServ): que es un mecanismo de granularidad fina basado en el flujo. La unidad fundamental es el flujo, sobre el que se opera y sobre el que realizan reservas de recursos, para las que existe un protocolo específico RSVP (Resource ReSerVation Protocol) [RFC2205], a lo largo de todo el camino de transmisión. Es una aproximación compleja.

En el ámbito de la planificación de paquetes existen múltiples planificadores de uso extendido en routers (y en general en cualquier máquina con capacidades de routing, por ejemplo un kernel de linux o windows 2000 server) cuya principal funcionalidad es la de garantizar una entrega equilibrada de los paquetes de los distintos flujos que reciben. Cabe destacar fair-queueing [Nag87], *Weighted Fair Queueing* [Sti98], *Random Early detection* (RED) [Flo93], *Stochastic Fairness Queueing* (SFQ) [Mck90], *Token Bucket Filter* (TBQ), [Sri04] amén de las clásicas políticas de asignación equiprobables FIFO, LIFO y Round Robin. Sobre estos mismos planificadores se puede llevar a cabo una planificación por prioridades de los paquetes atendiendo, básicamente, parámetros como los campos de DiffServ en la cabecera IP.

En las redes inalámbricas surge un buen número de dificultades añadidas respecto a los MAC de tiempo real en redes cableadas. Así, la ausencia de un control centralizado, el menor y variable ancho de banda, la mayor tasa de error en los canales radio y la movilidad de los nodos con la consiguiente inestabilidad topológica, conducen a dificultar las garantías de tiempo real en ese tipo de redes. El efecto del movimiento tiene una incidencia muy destacada puesto que, al varia la topología de manera dinámica e impredeciblemente puede introducir perturbaciones considerables.

Existen protocolos síncronos como por ejemplo Cluster TDMA [Lin97], *Cluster Token* [Lin96] o SRMA/PA (Soft Reservoir Multiple Access with Priority Assignment)[Ahn00] que salvan la carencia de un nodo central pagando el precio de requerir una sincronización temporal.

Por otra parte, existen toda una serie de protocolos asíncronos que no requieren un tiempo global y por lo tanto son más flexibles para un entorno wireless. Utilizan unas ventanas temporales muy pequeñas y algoritmos muy optimizados para evitar las colisiones de forma que se acoten los retardos y el ancho de banda entregado. Además, los paquetes tienen estampado un deadline de forma que cuando un nodo comprueba que ha expirado los

descarta, evitando que consuman recursos. Además soportan una aproximación de servicios diferenciados, con colas de prioridad. Ejemplos de estas aproximaciones son Real Time MAC (RT-MAC) [Bal99], Distributed Coordination Function – Priority Classes (DCF-PC) [Den99], Enhanced Distributed Coordination Function (EDCF) [Ben01].

Otros protocolos asíncronos adoptan la aproximación de realizar una reserva de recursos de forma que cada nodo tiene unos slots temporales asignados para garantizar retardos acotados. Es el caso de Multiple Access Collision Avoidance with Piggyback Reservations (MACA/PR) [Ger97] y Dynamic Bandwidth Allocation Sharing Extension (DBASE) [She01].

Por otra parte en tecnologías radio militar como pueden ser radios VHF y HF con capacidades IP ninguna de estas funcionalidades está implementada y además son desarrollos cerrados donde no se permite la modificación de ninguno de sus parámetros. La única intervención es garantizar a nivel IP o nivel de aplicación determinados parámetros que acoten el tiempo de comunicación de mensajes.

3.3 Codificación de video

La codificación digital de muestras de vídeo para su transmisión o almacenamiento requiere la utilización de algún tipo de técnicas de compresión. Esto es debido a la gran cantidad de bits necesarios para representar toda la información contenida en la secuencia de vídeo. Tómese como ejemplo una secuencia de vídeo de 352x288 píxeles (formato CIF) de un segundo de duración a 25 fps. Si se codifica cada píxel con 8 bits, se requieren 20275200 bits para almacenar ese segundo o, en el caso de una aplicación de streaming, 20.2 Mbps de ancho de banda para poder transmitir (sólo contando el payload de vídeo) con esa calidad.

Afortunadamente, existe una gran cantidad de redundancia, tanto espacial como temporal, en una secuencia de vídeo, que puede ser omitida reduciendo drásticamente la cantidad de información a transmitir y/o almacenar. Las peculiaridades del sistema sensorial humano también ayudan a recortar la información requerida. Existe un gran número de codificadores de vídeo, todas basadas en esos elementos de redundancia.

Los codificadores de video se pueden clasificar según la tasa media de bits que entregan. Así podemos señalar:

- codificadores de alta tasa de bits : 2 mbps o superior
- codificadores de tasa media de bits : entre 300 kbps y 1 mbps
- codificadores baja tasa de bits : de 64kbps hasta 300 kbps
- codificadores de muy baja tasa de bits : menos de 64kbps

Así, codificadores como MPEG-1 y MPEG-2 están más orientados a la codificación de flujos con altas tasas (a partir de 1.5 Mbps) para aplicaciones como Video-CD y almacenamiento(MPEG-1)[MPEG1] y televisión satélite digital y DVD en el caso de MPEG-2[MPEG2]. Ambos presentan una gran calidad de imagen al coste de consumir un elevado ancho de banda.

En el ámbito de la presente tesis nos centraremos en codificadores de baja o muy baja tasa de bits y que posean funcionalidades que los hagan resistentes a errores en el canal. Cabe destacar, para muy bajas tasas de codificación, H.263[ITU96] y sus continuaciones H.263+[ITU05] y H.263++[ITU05] que se corresponden a las versiones 2 y 3 del primero; MPEG-4[MPEG4] desarrollado por el motion Pictures Experts Group (MPEG) que permite unas tasas binarias bajas con un aceptable consumo de CPU y protección ante errores; H.264[H264] que se corresponde a MPEG-4 parte 10 de 2002 que permite muy bajas tasas binarias pero con un mayor consumo de CPU respecto a MPEG-4.

Por otra parte, para arquitecturas de mando y control que van a utilizarse en entornos con canal de transmisión muy adverso, canales radio como 802.11, WiMAX, mesh networks o canales satélite todos ellos con elevados y/o impredecibles retardos, elevadas tasas de pérdidas de paquetes y errores, etc. Se deberán utilizar códecs que proporcionen mecanismos de protección y recuperación ante errores y que estén muy adecuados a estos canales adversos. Estas técnicas se basan en añadir redundancia al flujo de información para detectar y corregir los errores. Podemos encontrarlas en la codificación fuente (codificador

y/o decodificador) o en la codificación de canal. En el primer caso destacan dos aproximaciones: a) técnicas de robustez del vídeo codificado ante errores, básicamente el uso de palabras de sincronización, tramas intra y códigos RVLC (Reversible Variable Length Coding); b) técnicas de ocultación de errores, localizadas en el decodificador que intentan aliviar los errores en la información recibida, por ejemplo llevando a cabo algún tipo de interpolación espacial y/o temporal con los datos correctos.

En la codificación de canal las técnicas se basan en la protección de los datos transmitidos, destacando: a) FEC (Forward Error Correction), básicamente técnicas de códigos redundantes; b) optimización de la estructura del paquete de transporte; c) retransmisiones.

MPEG-4, más que una colección de códecs, es un completo framework multimedia que incluye codificación, multiplexación de medios, interactividad, realidad virtual y gestión de derechos de propiedad, entre otros. Además, se proporcionan mecanismos de recuperación frente a errores e interactividad basada en el contenido, como la capacidad de acceso aleatorio y la de la manipulación de los objetos de una escena de vídeo.

Debido a esto, el estándar resulta inabarcable para la mayoría de aplicaciones, definiéndose perfiles y niveles que son subconjuntos de todas las funcionalidades que se presentan.

En la parte tocante al vídeo, cabe destacar que el codificador especificado por el estándar, resulta muy eficiente para un amplio rango de tasas de bits, desde muy bajas tasas, adecuadas para comunicaciones inalámbricas o Internet, hasta niveles superiores a HDTV (High Definition Television). Tiene menor calidad que MPEG-1 o 2 pero reduce el ancho de banda requerido así como incorpora mecanismos que lo dotan de robustez en medios más adversos.

A diferencia de los codificadores de vídeo “basados en tramas” (MPEG-1 y H.263), MPEG-4 está basado en objetos. Cada escena se compone de diversos objetos de vídeo (Video Objects, VO) que se codifican individualmente.

Por otra parte, H.264 consigue muy bajas tasas binarias manteniendo un nivel de calidad bastante aceptable a costa de aumentar el consumo de CPU. H.264 permite tamaños de bloques menores, mayor flexibilidad en las formas de los bloques y mayor precisión en los vectores de movimiento. Además incluye el concepto de múltiples frames de referencia. Esta característica es útil cuando codificamos movimientos periódicos por naturaleza, movimientos de traslación o ángulos de cámara alternantes que conmutan entre dos escenas diferentes. H.264 proporciona mecanismos para predecir macrobloques Intra en el dominio de los píxeles, a diferencia de H.263 y MPEG-4 que realiza esta predicción en el dominio de la frecuencia.

Los codificadores descritos utilizan las técnicas señaladas previamente para la recuperación ante errores como pueden ser, RLVC, refresco de tramas intra y uso de palabras de sincronización, entre otras.

3.4 Sistemas de comunicaciones en entornos tácticos

El campo de las comunicaciones de datos inalámbricas para entornos tácticos es muy vasto y ha experimentado una variación muy significativa en los últimos años. En este punto nos centraremos en el estado del arte de las tecnologías utilizadas como medio de transmisión en el presente trabajo.

3.4.1 Comunicaciones tácticas

Las comunicaciones tácticas se caracterizan por llevarse a cabo en medios generalmente bastante adversos con: un muy bajo ancho de banda (600 bps a 19200 kbps), elevadas tasas de errores, sistemas de comunicaciones con débil implementación IP, así como sistemas cerrados y propietarios donde el desarrollador tiene pocas posibilidades de modificar diseños o conocer tan siquiera parámetros de funcionamiento. Ante estas dificultades es preciso adaptar cualquier diseño que se vaya a llevar a cabo a tan particular entorno.

Dentro de estas comunicaciones cabe destacar tres dominios en función de las frecuencias de funcionamiento: HF, VHF y UHF. Hay otro dominio extra en la banda de las microondas que se corresponde a las comunicaciones satélite.

3.4.1.1 Comunicaciones HF

High Frequency (HF) se refiere a las transmisiones radio en el rango desde 3 a 30 MHz. Debido a que la ionosfera refleja las ondas de HF (fenómeno conocido como propagación skywave), HF es ampliamente utilizado para comunicaciones radio de medio y largo alcance (incluso rangos intercontinentales). Sin embargo, la estabilidad del canal que se puede establecer es muy variable y en función de una combinación compleja de factores como pueden ser: actividad solar, época del año, nivel de luz solar en la ubicación tanto del transmisor como del receptor, proximidad al terminador, auroras boreales, etc. El ruido electromagnético proveniente de dispositivos eléctricos afecta considerablemente a las transmisiones HF.

Sin embargo, el desarrollo de la denominada *Automatic Link Establishment* (ALE) basada en los estándares MIL-STD-188-141A [Bak89] y MIL-STD-188-141B [MIL-STD-188-141B] así como el STANAG 4538[STA4538] permite la conectividad entre estaciones y la selección del canal de manera automática y relativamente transparente para el usuario. El desarrollo de módems de alta velocidad conformes al estándar MIL-STD-188-110B[MIL-STD-188-110B] y su versión OTAN STANAG 4285[STA4285] y 4539[STA4539] con tasas binarias de hasta 9600 bps han permitido la interconexión de redes de datos mediante HF. Otros estándares como el STANAG 5066 [STA5066] permiten el transporte confiable de datos mediante el uso de protocolos ARQ y constituyen casi una pila completa TCP/IP denominada *High Frequency Internet Protocol* (HFIP / HF-IP).

Es de destacar que existe un estándar extra, MIL-STD-187-721C [MIL-STD-187-721C] que define una arquitectura de red con capacidades de routing, monitorización de la calidad del enlace, etc. para poder establecer LANs de HF e interconexión de dichas LANs.

3.4.1.2 Comunicaciones VHF

Very High Frequency (VHF) se refiere a las transmisiones radio en el rango desde 30 MHz a 300 MHz. Las características de la propagación VHF permiten rangos de algo más allá de LOS (Line of sight). En concreto, una aproximación de a formula de la distancia de propagación sería:

$D_{\text{propagación}} = \sqrt{(17 * \text{Altura_antena_en_metros})}$, medida en kilómetros.

Las transmisiones VHF no se ven reflejadas en capas de la atmósfera (como pasa con HF e ionosfera) con lo cual el rango queda limitado a islas de cobertura un poco más allá de la vista y como contraprestación no se interfiere en transmisiones VHF más allá de esa isla LOS. Por otra parte, VHF se ve menos interferido por el ruido atmosférico y/o dispositivos eléctricos como puede pasar en frecuencias inferiores. VHF, al ser de longitud de onda mayor, se ve mas interferido por objetos grandes (como pueden ser elementos orográficos) que frecuencias mas bajas pero menos interferido por objetos menores como edificios que en frecuencias UHF.

Las Combat Net Radio (CNR) en VHF permiten conectividad con valores limitados a 64 Kbps (teóricos) en frequency-hopping y valores reales probados entorno a 9600-4800 Kbps. Estas velocidades y características se prevé que permanezcan estables entorno a estos valores durante bastante tiempo pues las radios de última tecnología, como la Pr4G v3 F@stnet de Thales o las radios Singgars de ITT se mueven entorno a esos valores.

Otro tipo de radios VHF muy utilizadas en entornos tácticos son las punto a punto de enlace de datos. No permiten la movilidad y el uso en primera línea de las CNR pero a cambio dan enlaces punto a punto de 500 Kbps en distancias de 7 a 10 Km, usadas por ejemplo, para enlazar clusters de radios VHF. Ejemplos de ellas son las radios Mercury de ITT o EPLRS de Raytheon.

También existen soluciones de ad-hoc networking y mesh-networking en estos ámbitos de VHF y UHF. Cabe destacar las radios Spearnet de ITT, la solución de General Dynamics y la PNR-500 de Tadiran. En todos los casos permiten el relay de información entre nodos utilizando soluciones similares a [MES] con protocolos de enrutamiento [RFC3626][RFC3561], la reconfiguración dinámica de la topología de red y distancias de entorno a 1 Km entre nodos.

La seguridad en este tipo de radios es fundamental, tanto a nivel de COMSEC (físico) como de INFOSEC (datos). Las PR4G encriptan la información, aplican frequency hopping y tienen una amplia gama de contra medidas electrónicas, como se puede ver en [Lag92].

Software Defined Radio (SDR) se refiere a los dispositivos radio en los que gran parte del hardware típico de radio (mezcladores, filtros, amplificadores, moduladores/demoduladores, detectores, etc.) viene reemplazado por software, DSPs y conversores A/D y D/A de forma que modificar un dispositivo de un tipo de radio y rango de frecuencias a otro sea lo más rápido y transparente posible. Esta aproximación introduce gran número de desafíos tecnológicos. Estas soluciones han despertado mucho interés en el DoD estadounidense que ha llevado a cabo proyectos como los SpeakEasy I y II [Vid97] y el programa Joint Tactical

Radio System (JTRS). Éste último tiene como objetivo producir radios SDR fácilmente intercambiables e interoperables por medio de la denominada *Software Communications Architecture* (SCA) [SCA] basada en CORBA y en sistemas operativos que cumplan POSIX [POSX]. Harris y Thales tienen ya productos en uso como las radios AN/PRC-152.

3.4.1.3 Comunicaciones UHF

Las comunicaciones UHF tienen cierta aplicación en el ámbito táctico, aunque mucho menos que las VHF o HF. Uno de los motivos es que esta banda ocupa el rango de frecuencias de 300 MHz a 3 GHz y en ella se encuentran asignadas frecuencias para muchas tecnologías civiles (Televisión, GSM, wifi, Bluetooth, radar, RFID, etc.). Lógicamente las tasas binarias que se permiten son mayores que las habituales al disponerse de mayores rangos de frecuencia aunque las características de propagación y rangos son mucho menores debido al aumento de frecuencia. Las tasas binarias que permiten los sistemas tácticos existentes están entorno a los 30 Kbps como por ejemplo en las soluciones PNR-500 de Tadiran, SRR330 de Saab o la radio de Marconi Mobile H4855. Sin embargo, en el programa LandWarrior del ejército USA se ha seleccionado la radio EPLRSLight (Enhanced Position Location Reporting System) que promete tasas binarias de 486 Kbps. Otros dispositivos, como las Spearnet de ITT o las ST@RMILLE de Thales también permiten anchos de banda muy superiores (entorno a 1 Mbps) a los habituales en entornos tácticos. De momento, sin embargo, el principal uso que se está dando a este tipo de dispositivos es el de comunicaciones vocales.

3.4.1.4 Comunicaciones satélite

Las comunicaciones satélite, en entornos tácticos tanto civiles como militares, permiten una serie de beneficios:

- cobertura ubicua
- infraestructura instantánea cuando han caído todo tipo de redes o bien, directamente, éstas no existen.
- son una solución temporal perfecta
- enlace entre nodos muy distantes
- despliegue y funcionamiento muy rápido
- telefonía/datos
- punto a punto o punto a multipunto con acceso a Internet.

Como contraprestaciones cabe destacar:

- la necesidad de disponer de una red de satélites propia o alquilada o bien comprar ancho de banda a operadores comerciales.
- la seguridad
- la disponibilidad relativa por temas de coberturas por zonas u orientación de satélites

Las frecuencias de microondas que utilizan los satélites vienen determinadas en una serie de bandas. En concreto nos encontramos con:

- Banda L: en el rango de frecuencias de 1 a 2GHz. Utilizada en servicios satélite con

movilidad, ofrece unas buenas en condiciones climáticas adversas o de vegetación densa.

- Banda C: en el rango de 3.7 a 6.2 Ghz. Las transmisiones se ven poco afectadas por las condiciones atmosféricas. Sin embargo, debido a la potencia asociada, los equipos terrestres suelen ser de tamaño considerable. Su principal utilidad es para enlaces satélite punto a punto en redes públicas e Internet.
- Banda X: el rango de frecuencias va de 8.0 a 12.0 Ghz. Esta banda permite transmisiones con considerable potencia usando terminales de tamaño pequeño. Suelen utilizarse en manpacks, comunicaciones de emergencia y móviles así como en aviones y buques. Otra ventaja de esta banda es que es poco vulnerable a la lluvia así como a la interferencia de otras fuentes de radioondas.
- Banda Ku: frecuencias de 11.7 a 14.5 GHz. Sensible a interferencias y condiciones climáticas, tiene aplicación en ámbitos multimedia.
- Band Ka: frecuencias en el rango de 17.7 a 21.2 GHz. Considerable potencia, usos en Internet de alta velocidad y videoconferencia. Bastante sensible a interferencias.

Hay que destacar que las bandas más utilizadas en ámbitos tácticos son la L y la X, ofreciendo un buen compromiso entre robustez y ancho de banda. Éstos suelen ir de 64 Kbps hasta 2 Mbps con retardos típicos de comunicaciones satélite alrededor de 0.5 a 2 segundos.

3.4.2 Comunicaciones civiles

En las comunicaciones civiles las restricciones son mucho más relajadas que en el ámbito táctico encontrándonos con medios con: elevado ancho de banda (del orden de decenas de Mbps), sistemas abiertos con los que los ciclos de desarrollo son mucho más cortos, menores costes, etc.

3.4.2.1 Wireless lan 802.11

El protocolo IEEE 802.11 o Wi-Fi es un estándar de protocolo de comunicaciones del IEEE que define el uso de los dos niveles inferiores de la arquitectura OSI (capas física y de enlace de datos), especificando sus normas de funcionamiento en una WLAN.

La familia 802.11 actualmente incluye seis técnicas de transmisión por modulación, todas las cuales utilizan los mismos protocolos. Destacan principalmente: la especificación IEEE 802.11b, con velocidades de 5 hasta 11 Mbps, trabajando en la frecuencia de 2,4 GHz. También existe una especificación sobre una frecuencia de 5 Ghz que alcanza los 54 Mbps, en concreto 802.11a . Tiene la ventaja de utilizar frecuencias poco concurridas por lo que la probabilidad de interferencias baja considerablemente. Sin embargo, al doblarse la frecuencia, disminuye considerablemente la capacidad de penetración así como el rango. Posteriormente se incorporó un estándar a esa velocidad y compatible con el b que recibe el nombre de 802.11g. La versión final del estándar se publicó en Junio de 2007 y recoge las modificaciones más importantes sobre la definición original; incluye: 802.11a,b,d,e,g,h,i,j.

En la actualidad la mayoría de productos son de la especificación b y de la g . El siguiente paso se dará con la norma 802.11n que sube el límite teórico hasta los 600 Mbps. Actualmente ya existen varios productos que cumplen un primer borrador del estándar con un máximo de 300 Mbps (80-100 estables).

La seguridad forma parte del protocolo desde el principio y fue mejorada en la revisión 802.11i. Otros estándares de esta familia (c-f, h-j, n) son mejoras de servicio y extensiones o correcciones a especificaciones anteriores.

Los estándares 802.11b y 802.11g utilizan bandas de 2,4 Ghz que no necesitan de permisos para su uso. El estándar 802.11a utiliza la banda de 5 GHz. El estándar 802.11n hará uso de ambas bandas, 2,4 GHz y 5 GHz. Las redes que trabajan bajo los estándares 802.11b y 802.11g pueden sufrir interferencias por parte de hornos microondas, teléfonos inalámbricos y otros equipos que utilicen la misma banda de 2,4 Ghz.

El estándar 802.11a utiliza el mismo juego de protocolos de base que el estándar original, opera en la banda de 5 Ghz y utiliza 52 subportadoras orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM) con una velocidad máxima de 54 Mbit/s, lo que lo hace un estándar práctico para redes inalámbricas con velocidades reales de aproximadamente 20 Mbit/s. La velocidad de datos se reduce a 48, 36, 24, 18, 12, 9 o 6 Mbit/s en caso necesario. 802.11a tiene 12 canales no solapados, 8 para red inalámbrica y 4 para conexiones punto a punto.

En junio de 2003, se ratificó un tercer estándar de modulación: 802.11g. Que es la evolución del estándar 802.11b, Este utiliza la banda de 2.4 Ghz (al igual que el estándar 802.11b) pero opera a una velocidad teórica máxima de 54 Mbit/s, que en promedio es de 22.0 Mbit/s de velocidad real de transferencia, similar a la del estándar 802.11a. Es compatible con el estándar b y utiliza las mismas frecuencias. Buena parte del proceso de diseño del estándar lo tomó el hacer compatibles los dos estándares. Sin embargo, en redes bajo el estándar g la presencia de nodos bajo el estándar b reduce significativamente la velocidad de transmisión.

Con el estándar 802.11e, la tecnología IEEE 802.11 soporta tráfico en tiempo real en todo tipo de entornos y situaciones. Las aplicaciones en tiempo real son ahora una realidad por las garantías de Calidad de Servicio (QoS) proporcionado por el 802.11e, sobretodo por mecanismos específicos a nivel de MAC. Para cumplir con su objetivo IEEE 802.11e introduce un nuevo elemento llamado Hybrid Coordination Function (HCF) con dos tipos de acceso: Enhanced Distributed Channel Access (EDCA) y Hybrid Coordination Controlled Access (HCCA).

802.11i consiste en las nuevas especificaciones de seguridad para 80.11. Está dirigido a minimizar la vulnerabilidad actual en la seguridad para protocolos de autenticación y de codificación. El estándar abarca los protocolos 802.1x, TKIP (Protocolo de Claves Integra – Seguras – Temporales), y AES (Estándar de Cifrado Avanzado). Se implementa en WPA2.

En el ámbito táctico la utilización de 802.11 puede ser una buena opción en determinados casos por los anchos de banda que ofrece, bajo coste y fácil despliegue. Sin embargo, la escasez de certificaciones de seguridad, los rangos cortos y la sensibilidad a interferencias pueden llegar a ser puntos en contra. Una acertada elección, particularizada a un ámbito espacial, operacional y radioeléctrico concreto y sobretodo combinada con otras tecnologías de red, puede ser muy adecuada en muchos escenarios. Este caso es la denominada ‘burbuja

WIFI' que se establece alrededor de un vehículo para la extensión de servicios, utilizada, por ejemplo, en el sistema norteamericano Force XXI Battle Command Brigade and Below (FBCB2) [Mor04].

3.4.2.2 Bluetooth

Bluetooth es una especificación industrial para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPANs) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia segura y en banda ISM (2,4 GHz.)

La especificación de Bluetooth define un canal de comunicación de máximo 720 kb/s (1 Mbps de capacidad bruta) con rango óptimo de 10 metros (opcionalmente 100 m con repetidores).

La frecuencia de radio con la que trabaja está en el rango de 2,4 a 2,48 GHz con amplio espectro y saltos de frecuencia con posibilidad de transmitir en Full Duplex con un máximo de 1600 saltos/s. Los saltos de frecuencia se dan entre un total de 79 frecuencias con intervalos de 1Mhz; esto permite dar seguridad y robustez.

La potencia de salida para transmitir a una distancia máxima de 10 metros es de 0 dBm (1 mW), mientras que la versión de largo alcance transmite entre 20 y 30 dBm (entre 100 mW y 1 W).

Para lograr alcanzar el objetivo de bajo consumo y bajo costo, se ideó una solución que se puede implementar en un solo chip utilizando circuitos CMOS. De esta manera, se logró crear una solución de 9x9 mm y que consume aproximadamente 97% menos energía que un teléfono celular común.

El protocolo de banda base (canales simples por línea) combina conmutación de circuitos y paquetes. Para asegurar que los paquetes no lleguen fuera de orden, los slots pueden ser reservados por paquetes síncronos, un salto diferente de señal es usado para cada paquete. Por otro lado, la conmutación de circuitos puede ser asíncrona o síncrona. Tres canales de datos síncronos (voz), o un canal de datos síncrono y uno asíncrono, pueden ser soportados en un solo canal. Cada canal de voz puede soportar una tasa de transferencia de 64 kb/s en cada sentido, la cual es suficientemente adecuada para la transmisión de voz. Un canal asíncrono puede transmitir como mucho 721 kb/s en una dirección y 56 kb/s en la dirección opuesta, sin embargo, para una conexión asíncrona es posible soportar 432,6 kb/s en ambas direcciones si el enlace es simétrico.

Respecto a la potencia de transmisión los dispositivos se pueden dividir en tres clases: clase 1 con 100mW max y un rango entorno a los 100 metros, clase 2 con 2.5mW max y un rango entorno a los 25 metros y clase 3 con 1mW max y un rango entorno a 1 metro.

Los anchos de banda que ofrece el estándar varían con las versiones. Así, con la versión 1.1 entorno a 1 mbps (730 kbps efectivos), versión 2.0 3mbps y en las futuras versiones con ultrawideband se espera que entorno a 50-480 mbps

En el estándar Bluetooth se especifican una serie de perfiles destacando:

- Bluetooth Network Encapsulation Protocol (BNEP): permite el convertir un interfaz Bluetooth en un interfaz genérico de red e interconectarlo a una pila TCP/IP, de manera transparente.
- Serial Port Profile (SPP): puerto serie (emulación completa de RS-232) sobre Bluetooth. Se requiere el protocolo rfcmm. Es una de las funcionalidades más interesantes de Bluetooth y ha sido extensamente utilizado en este trabajo.

El 28 de marzo de 2006, el Bluetooth SIG anunció su intención de utilizar Ultra-Wideband/MB-OFDM como capa física para futuras versiones de Bluetooth.

La integración de UWB creará una versión de la tecnología Bluetooth con opción a grandes anchos de banda. Esta nueva versión permitirá alcanzar los requisitos de sincronización y transferencia de grandes cantidades de datos así como de contenidos de alta definición para dispositivos portátiles, proyectores multimedia, televisores y teléfonos VOIP.

Al mismo tiempo, la tecnología Bluetooth continuará satisfaciendo las necesidades de aplicaciones de muy bajo consumo como ratones, teclados o auriculares mono permitiendo a los dispositivos seleccionar la capa física más apropiada para sus requisitos.

Una de las principales utilidades de Bluetooth en un ámbito táctico, tanto civil como militar, es la de poder definir redes de área personal o PAN por sus siglas en inglés que suelen agrupar dispositivos Bluetooth a nivel personales un radio de 1.5 metros para interconectar sensores con dispositivos de cómputo.

3.4.2.3 WiMAX

El estándar WiMAX (Worldwide Interoperability of Microwave Access) se corresponde a la especificación IEEE 802.16 [] haciendo referencia a un sistema BWA (Broadband Wireless Access) de alta tasa de transmisión de datos y largo alcance (hasta 50 km), escalable, y que permite trabajar en bandas del espectro tanto "licenciado" como "no licenciado". El servicio, tanto móvil como fijo, se proporciona empleando antenas sectoriales tradicionales o bien antenas adaptativas con modulaciones flexibles que permiten intercambiar ancho de banda por alcance.

WiMAX es una tecnología de red inalámbrica de área metropolitana orientada a la interconexión de WIFI hotspots así como el acceso de banda ancha de última milla. Podemos encontrar dos ramas básicas dentro del estándar IEEE 802.16: a) 802.16-2004(d) diseñado para modelos de uso de acceso fijo y que incluye a 802.16a y 802.16c, con tasas de transferencia efectivas de 40Mbps, OFDM 256-FFT y mejoras en el MAC para el soporte de QoS b) IEEE 802.16e, reforma al estándar 802.16-2004 que añade movilidad. 802.16e conserva todas las actualizaciones de WiMax fijo, añadiendo un soporte robusto para broadband móvil. Por otra parte, la capa MAC esta optimizada para enlaces de larga distancia ya que tolera grandes retardos y jitters.

Un sistema WiMAX constará fundamentalmente de una estación base y diversos clientes. La primera está típicamente constituida por una electrónica indoor y una torre para soportar la antena, con valores reales de coberturas entorno a 50 km. Los clientes pueden ser indoor y

outdoor siendo los primeros mucho más completos en cuanto a interfaces (Ethernet, wi-fi, VoIP) y los segundos más versátiles a la hora de incorporarles antenas de mayor ganancia. El estándar provee avanzados mecanismos de control de potencia que garantizan un consumo más eficiente de los recursos energéticos, resultando idóneos en operaciones de emergencias al aumentar considerablemente la autonomía. Por otra parte, los mecanismos de seguridad son mucho más robustos que en WIFI al disponerse de autenticación AES-128 embebida lo cual protege las comunicaciones ante cualquier tipo de interferencia lógica. Además, los usuarios que se desplacen a velocidades considerables no ven mermadas las prestaciones de acceso de red. Se puede disponer de islas de cobertura WIMAX configuradas como un malla con enlaces backhaul entre ellas o bien soportando islas de cobertura WIFI siendo WIMAX su troncal. Mediante WIMAX se puede extender el concepto de 'fly-away' para entornos devastados por una catástrofe ya existente para despliegues WIFI a áreas de mayor cobertura (dos órdenes de magnitud) y con mayores dificultades orográficas (gracias a factores como una mayor penetración de obstáculos). Por otra parte, se puede dar soporte a muchos más flujos con elevados requerimientos de ancho de banda y utilizando menos recursos de red que en el caso de tecnologías anteriormente señaladas. Finalmente, la planificación de recursos de red (asignación dinámica de modulaciones, algoritmos de gestión de sistemas MIMO, etc.) es un área de investigación todavía abierta como se puede ver en [Fav07] [Bia07].

3.5 Replicación de la información en entornos tácticos

La replicación de la información y la gestión de transacciones son elementos fundamentales en sistemas distribuidos y más aun en sistemas tácticos. Las aproximaciones a este problema se han realizado desde el ámbito de las bases de datos distribuidas[Tam99], el ámbito de los sistemas de ficheros distribuidos [San85] y el ámbito de la memoria compartida en sistemas distribuidos[Adv95]. En cualquier caso las soluciones desarrolladas son similares con los matices debidos a las características propias de cada ámbito de aplicación y el objetivo que todas buscan es el de permitir que distintos nodos en un sistema distribuido compartan una misma información en el mismo tiempo y, en el caso de que esto no sea posible por pérdidas de paquetes, etc., minimizar el impacto en el sistema de dichas perturbaciones y permitir que pueda volver fácilmente a un punto coherente.

En el ámbito de las bases de datos se definen las propiedades ACID [Har83] en una transacción como:

- Atomicidad: se debe garantizar que la transacción ocurre por completo o no ocurre.
- Consistencia: la transacción debe iniciarse en un estado consistente del sistema y al finalizar debe dejar al mismo también en un estado consistente.
- Isolation (aislamiento): la transacción se realiza de manera aislada, el resto de potenciales productores/consumidores no intervienen hasta que ésta finaliza por completo.
- Durability (durabilidad): una vez se inicia una transacción ésta debe llevarse a cabo incluso si el originador cae.

La consistencia será una de las propiedades deseables en una transacción. En los tres ámbitos previamente citados se han definido los siguientes modelos de consistencia:

- Modelo de consistencia estricto: Esta es la aproximación más restrictiva pues exige que todos los nodos compartan la última actualización de los valores de cada uno de ellos. Incluso con una sincronización global muy precisa, en la literatura no se la considera una aproximación viable en sistemas distribuidos[Gal00] pues se introduce una sobrecarga y en el sistema que aporta menos que lo que da y más bien se la toma como referencia en el desarrollo de otras aproximaciones.
- Modelo de consistencia secuencial [Lam79]: Este modelo, planteado por L. Lamport, relaja los requerimientos del Modelo de consistencia estricto al requerir que todos los participantes compartan una visión común respecto a los accesos al recurso de almacenamiento. De esta forma, el modelo se apoya en que todos los participantes compartan una ordenación global de eventos, no un tiempo global, y no garantiza que el valor recibido sea el más actualizado.
- Modelo de consistencia causal [Hut90]: Este modelo relaja aun más los requerimientos del modelo secuencial con el siguiente requisito: no todos los eventos deben ser vistos por todos los miembros del sistema distribuido en el mismo orden, tan sólo aquellos que tienen una relación causal, en cuyo caso deben ser vistos en el mismo orden y con garantía de corrección. La relación causal se establece cuando dos transacciones afectan al mismo conjunto de datos compartidos.

- Modelo de consistencia PRAM (Pipelined Random Access Memory) [Lip88]: Este modelo es menos estricto aun que el modelo causal. Cada proceso inserta sus transacciones en una cola FIFO y solo se exige que el resto de nodos vean ordenadas las transacciones de cada uno, no como están ordenadas esas transacciones respecto al resto de transacciones del resto de nodos.
- El modelo processor consistency [Goo89]: Este modelo es muy similar a PRAM pero con un requerimiento extra respecto a la coherencia de memoria de forma que, no sólo todas las operaciones de un nodo deben estar en una cola FIFO sino que, para una posición de memoria particular, el sistema distribuido global debe estar de acuerdo en el orden de todas las operaciones de escritura llevadas a cabo.
- Modelo de consistencia débil [Dub86] [Dub88]: Este modelo se basa en la existencia de una variable sincronización por cada nodo cuya propagación permite señalar nuevas escrituras entre nodos así como llevar a cabo actualizaciones locales respecto a otras variables de otros nodos. el acceso a estas variables debe respetar el modelo de consistencia secuencial. Este modelo se señala como muy eficiente porque agrupa tipos de transacciones permitiendo que un nodo sólo vea las que le interese y eliminando sobrecargas.
- Modelo de consistencia ‘release’ [Gha90]: Este modelo es muy similar al modelo de consistencia débil pero añadiendo la posibilidad de distinguir entre sincronizaciones antes de entrar en regiones críticas y sincronizaciones tras completar una región crítica. Esto mejora el rendimiento del modelo previo al refinar el dominio de transacciones a propagar.
- Modelo de consistencia ‘lazy’ [Kel92]: Es una mejora del release consistency model en el que sólo se informa del acceso a la región crítica en determinadas circunstancias, sólo cuando el otro nodo va a hacer un acceso, i.e sólo cuando es imprescindible, obteniéndose una optimización de la eficiencia.
- Modelo de consistencia ‘entry’ [Ber93]: Es una mejora del release consistency model que introduce variables de acceso (locks).

Una aproximación muy utilizada en sistemas transaccionales para garantizar la atomicidad es el denominado two-phase commit protocol [Gra78]. En una primera fase un coordinador, generalmente el nodo que genera la información, se pone en contacto con los otros nodos implicados descartado a alguno si no hay respuesta, y en una segunda fase cada uno de los nodos implicados lleva a cabo su transacción con la obligación de completarla hasta el final. Sin embargo, esta aproximación no es viable en entornos tácticos puesto que requiere que la replicación sea síncrona y ello no es práctico en entornos tácticos.

Por otra parte hay que destacar que en los últimos tiempos y siguiendo las tendencias del momento, han aparecido aproximaciones como las basadas en teoría de juegos [Gre05] o en algoritmos genéticos [Lou04] para la gestión de la replicación y las transacciones en bases de datos de sistemas distribuidos. En otro punto donde se ha incidido recientemente es en técnicas de replicación en entornos inalámbricos ad-hoc que tienen mucho que ver con el objeto del presente trabajo. Ejemplos de ello son los trabajos [Kha08] [Bel05] [San07].

Si bien lo expuesto anteriormente representa el estado del arte y punto de partida en el contexto de la replicación de datos, todo ello debe ser refinado y adaptado para el ámbito de los entornos tácticos. En los mismos nos vamos a encontrar con una serie de restricciones fundamentalmente debidas a las comunicaciones, como pueden ser:

- alta movilidad de las unidades
- variabilidad en la topología de red
- altas tasas de errores
- enlaces no confiables con desconexiones frecuentes
- enlaces no orientados a la conexión
- dominios de broadcast compartidos
- retardos que pueden llegar al orden de segundos
- escaso ancho de banda en muchos casos

En estos entornos, como se destaca en [Cha96], incluso los mecanismos de replicación mas relajados pueden acabar resultando muy ineficientes donde, según estudios como [Kam95], los fallos de actualización en bases de datos pueden llegar al 50%. En estos entornos hay que replantearse la definición de consistencia y adaptarla a los mismos. En [Cha96] se define el concepto de la consistencia tácticamente significativa como “aquella que es suficiente para llevar a cabo una tarea determinada en un entorno concreto, con el nivel de relajación que se precise”. Para ello, a la hora de diseñar un mecanismo de replicación hay que adaptarlo muy ajustadamente al entorno de aplicación y sus limitaciones y tener en cuenta factores como: i) caducidad de la información a enviar; ii) necesidad de tener acuse de recibo y/o otros mecanismos de garantía; iii) enviar lo justo y necesario, siendo selectivo y eficiente sin gastar ancho de banda con, por ejemplo, información desfasada; iv) reemplazar la información ausente con predicciones verosímiles basadas en información previa antes que gastar red en retransmisiones. Como se señala en [Gib00] las bases de datos comerciales más extendidas no tienen soporte para una replicación con consistencia débil y que se pueda ajustar a las peculiaridades de estos entornos.

Una aproximación que se destaca en la literatura [Cha96] es la utilización de 'bases de datos' activas [Coh89] [Day95] que son aquellas que ante la llegada de determinados eventos (datos) predefinidos disparan una serie de acciones, fundamentalmente el control de flujo y la sincronización entre nodos, de forma que esta se haga aun más selectiva y adaptada al entorno en estudio. Así, el uso de triggers permite controlar aspectos muy importantes en este tipo de aplicaciones como, por ejemplo, puede ser que un dato de posición ha caducado o que el mismo ha variado una determinada distancia.

Otro aspecto que se destaca en el mismo trabajo es la importancia de la contextualización de la información de forma que la importancia de la misma y su replicación (y la temporización de la misma) vendrá determinada por aspectos que se pueden inferir del contenido de la base de datos y del conocimiento del teatro de operaciones y su dinámica. De hecho muchas veces el valor temporal de un dato (y su caducidad) será más importante que otros factores como el histórico de sus valores.

En la literatura [Gib03] se destacan como características deseables en la replicación para entornos tácticos:

- Respecto a las características temporales de la misma, es evidente que la replicación asíncrona la única opción viable puesto que permite una consistencia poco estricta y relajada entre bases de datos sin afectarle en exceso la latencia mientras que la replicación síncrona requiere de una alta disponibilidad de red y ancho de banda.
- Otro aspecto que se destaca necesario es que la consistencia sea muy relajada puesto que debido a las latencias y pérdidas de conectividad, muchas veces una sincronización plena entre bases de datos no se llega a alcanzar nunca y algunos valores pueden permanecer inconsistentes.
- En muchas situaciones no nos interesa mantener un histórico de las transacciones una vez recuperada la conexión, como podría ser el caso en un sistema bancario o de reservas on-line, sino, únicamente, el último valor de una variable dada.
- Existencia de mecanismos de funcionamiento degradado que detecten la pérdida de características de la red subyacente y sepan adaptarse protegiendo la replicación y consistencia de la información de mayor valor o prioridad.
- Debe haber mecanismos que garanticen, en la medida de lo posible, la replicación de datos marcados como urgentes o prioritarios.
- Replicación incremental de sólo los deltas en las bases de datos, por eficiencia en ancho de banda y pérdidas.
- Modelo de comunicación y topología mallado o peer-to-peer evitando esquemas cliente servidor para eliminar el tener un punto de fallo crítico. Las topologías malladas son muy importantes también por el hecho de que se perderán enlaces y habrá que reconfigurar la topología dinámicamente.
- Evitación de señales de ACK (acknowledgement), sin embargo sí pueden utilizarse NAK (Negative acknowledgment)
- La propiedad de los datos y el flujo de información no debe ser maestro-esclavo centralizado ni tener un propietario claro, de forma que todos los nodos puedan hacer de relay de la información si se precisa.

En [Kam95] se incide en un modelo de consistencia débil entre nodos basado en la arquitectura OSCAR [Dow90] permitiendo un funcionamiento sobre datos inconsistentes apoyados en la caducidad e importancia de los mismos y en mecanismos de inferencia para solventar las inconsistencias.

En [Gib00] se incide en ideas similares para poder convivir con las inconsistencias inherentes, de forma que se minimiza la incertidumbre mediante el uso de algoritmos predictivos y explotando la redundancia en determinados tipos de datos, pero teniendo presente los errores que pueden introducir este tipo de soluciones.

3.6 Interoperabilidad en sistemas de mando y control

La interoperabilidad se define en los NATO C3 Technical Architecture Volumes [NAT] como “Habilidad de los sistemas, unidades o fuerzas para proveer servicios que garanticen un intercambio efectivo de información y procedimientos más allá de los límites de las organizaciones que los engloban”

En la literatura y sistemas existentes podemos encontrar dos dominios de interoperabilidad: interoperabilidad a nivel estratégico e interoperabilidad a nivel táctico. En el primer caso estaríamos hablando de nivel de cuerpo de ejército a batallón, mientras que en segundo se podría considerar de batallón y niveles inferiores. El primero se refiere a los protocolos, mecanismos y estructuras de datos para el intercambio de datos entre sistemas heterogéneos a alto nivel lo que implica un mayor volumen de datos, mas restricciones de seguridad y, a su vez, un mayor ancho de banda mayores recursos computacionales y un intervalo entre muestreos más holgado, mientras que el segundo se refiere a un intercambio de datos a más próximo al escenario de operaciones con lo que se tiene un menor volumen de datos pero con un mucho menor ancho de banda, recursos computacionales y tiempos de refresco mucho menores.

En el primer caso nos encontramos con soluciones basadas en el modelo de datos estándar de OTAN C2IEDM (Command and Control Information Exchange Data Model) [C2I] o el modelo de datos del ejército de tierra español MDCET, adaptación del anterior a las necesidades particulares de dicha organización. Muy lejos de su implantación en sistemas en uso puesto que todavía está en fase de discusión y desarrollo, la futura extensión de C2IEDM, denominada JC3IEDM [JC3] sustituirá al mismo en algunos años. Estos modelos de datos son muy complejos, con gran número de bases de tablas (214 en el caso de C2IEDM versión 6.15e) y están diseñados para modelar la complejidad de todos los agentes implicados en una operación y poder hacerse una representación muy elaborada. Sus necesidades en cuanto a elementos de cómputo, dispositivos de almacenamiento y recursos de red son elevadas.

Para el intercambio de información representada con dichos modelos de datos, OTAN creó una entidad denominada Multilateral Interoperability Program (MIP) encargada de desarrollar una serie de estándares respecto al mismo. Fundamentalmente existen dos mecanismos estandarizados por este organismo:

- El mecanismo de intercambio de mensajes o Message Exchange Mechanism (MEM)[MEM], que partiendo de un estándar anterior, y todavía en uso, denominado ADatP-3[ADA] para mensajes estructurados, facilita el intercambio de mensajes tanto vertical como horizontal entre los sistemas de mando y control
- El mecanismo de intercambio de datos o Data Exchange Mechanism (DEM) [DEM] que posibilita el intercambio, siguiendo unas políticas de permisos con una seguridad muy estricta, de los contenidos de las bases de datos C2IEDM de cada una de las agencias implicadas en una operación. De esta manera se puede compartir información, normalmente filtrada, de la visión del teatro de operaciones entre naciones.

A un nivel más táctico el protocolo principal de intercambio de datos es el denominado NFFI (Nato Friendly Force Information) [NFFI1] [NFFI2] que se corresponde al STANAG 5527 y que nace como una solución rápida de interoperabilidad en ISAF. Este protocolo tiene la finalidad de intercambiar información de posiciones de fuerzas propias para evitar el fuego fraticida y mejorar la COP en operaciones conjuntas, siendo el protocolo de intercambio de datos más utilizado entre los denominados sistemas FFT (Friendly Force Tracking Systems). Hay que destacar que NFFI se integra en MIP y es complementario.

NFFI presenta un modelo de datos bastante simple basado en el intercambio de mensajes XML. Cada mensaje XML puede contener una sucesión indeterminada de tracks o posiciones propias agrupada en cinco campos básicos:

- *positionalData*: Único campo obligatorio. Contiene información de la posición (latitud, longitud, altitud) de la unidad velocidad y dirección de movimiento así como datos del sistema que la generó.
- *identificationData*: Que contiene información para poder identificar y representar ese elemento.
- *operStatusData*: Que contiene información del estado operacional de la unidad.
- *deviceSpecificData*: que contiene información de los dispositivos asociados a la unidad.
- *detailData*: Que contiene información sobre la unidad con campos genéricos donde se puede insertar información libre.

El estándar especifica directrices para mapeos entre NFFI y C2IEDM, ADaTP-3, Link-16, JBFS.XML y VMF.

NFFI presenta tres perfiles básicos que se corresponden a dos perfiles de comunicación:

- versión 1.3.1 que cubre
 - SIP1 (TCP como transporte) confiable
 - SIP2 (UDP como transporte) no confiable
- Version 2.0: SIP3 [NFFI3] Web services
 - FL1 -> modo 'pull'. No filtrado
 - FL2 -> modo 'push'. Filtrado básico
 - FL3 -> Filtrado avanzado

En este último caso se utilizan arquitecturas publish-subscribe orientadas a servicio (SOA).

En las siguientes figuras podemos ver las dos implementaciones del paradigma SOA actualmente utilizadas en NFFI.

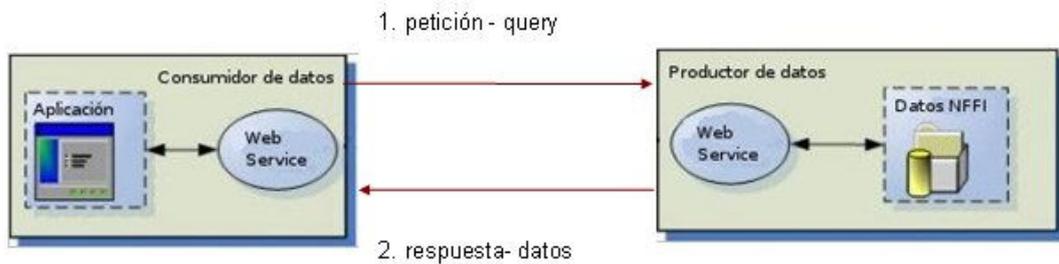


Figura 22: NFFI SIP3 modo Pull

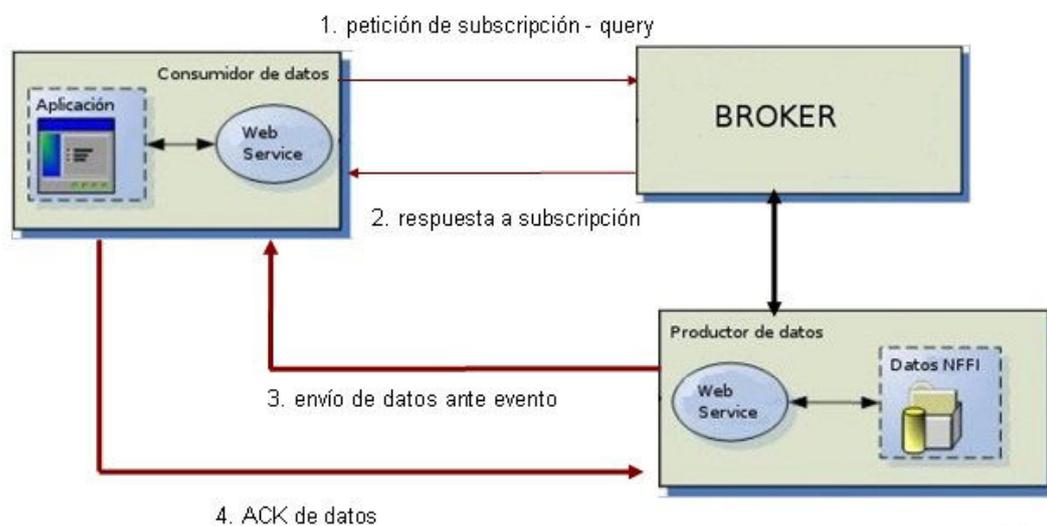


Figura 23: NFFI SIP3 modo suscripción

Además el estándar, en su perfil SIP3 [NFFI3], permite definir filtros complejos en función del sistema que genera la información, la posición geográfica de las unidades, filtros para limitar la información a transmitir por consumo de ancho de banda, etc.

Respecto a la seguridad, el estándar supone que todas las comunicaciones son cifradas. Sin embargo, habilita atributos opcionales para las secciones que constituyen un mensaje NFFI-XML relativas a la política de seguridad, la clasificación de seguridad y la categoría de seguridad. En el caso de comunicaciones entre distintos dominios de seguridad se utilizan los denominados Boundary Protection Devices (BPD) que actúan como firewalls de la información NFFI.

Land Tracking Information Service (LTIS) [NFFI4] se espera que sea la evolución de NFFI. Como funcionalidades esperadas: De manera automática y continua: Recepción y distribución de tracks en casi tiempo real entre sistemas nacionales y OTAN (horizontal y táctico), Alimentar verticalmente a todo tipo de sistemas C2IS y a COP. Filtrado avanzado, Seguridad. Capacidad de inter-dominios, Mensajería integrada en NFFI.

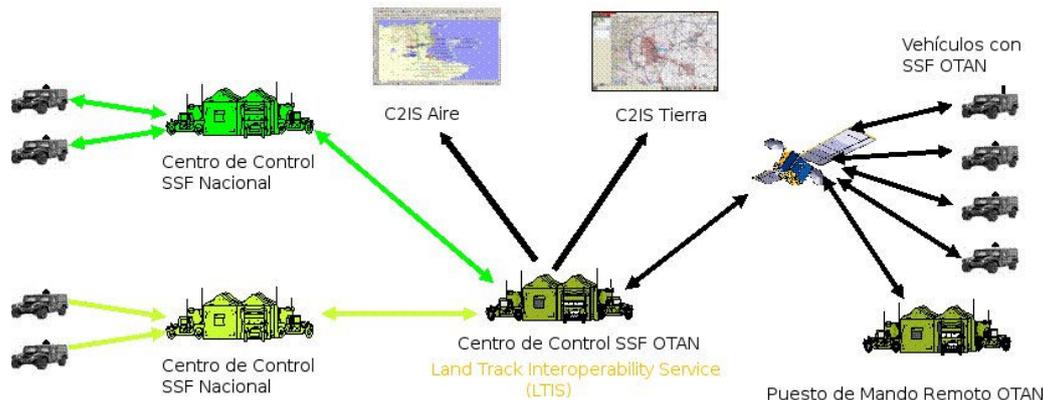


Figura 24: Arquitectura LTIS

3.6.1 Compresión en entornos tácticos. Compresión NFFI

XML (eXtensible Markup Language) [XML] tiene muchas ventajas, como el hecho de permitir el intercambio de datos heterogéneos entre sistemas dispares en un formato inteligible por los usuarios, pero posee una clara desventaja en determinados escenarios: su verbosidad. Esto conduce a una sobrecarga en tamaño de los documentos XML que suelen exceder claramente a documentos en otros formatos que poseen la misma información. Este problema del tamaño en documentos XML incrementa sustancialmente los costes de almacenar, procesar e intercambiar datos. El problema es mucho más evidente en escenarios con restricciones severas de ancho de banda, consumo energético, CPU y almacenamiento como son los escenarios de mando y control táctico.

La compresión de los mensajes XML se puede llevar a cabo por medio de compresores ordinarios de texto como gzip [GAI], pkzip [PKZ], bzip2 [BZI], etc. Sin embargo, no aprovechan la estructura subyacente de los mensajes XML perdiéndose una oportunidad de compresión.

La cuestión es que los documentos XML tienen redundancia no local en muchos casos, debida fundamentalmente a la estructura en árbol de dichos documentos, cosa que es difícil de descubrir por parte de los compresores de texto.

Existen varias soluciones de compresión basadas en las características de este tipo de documentos. En la literatura asociada se categorizar como:

- Codificaciones de longitud mínima como XMILL [Lie00], XMLPPM [Che01], SCA[Lev02], y otras como [Jeu02] y [Adi04].
- Formatos binarios compactos para el procesamiento y la transmisión eficientes de mensajes XML como ASN.1 XER[ASN], Efficient XML[AGI], y otras como[Gir00] y [Tod04].

- Técnicas de almacenamiento y transmisión eficientes basadas en procesamiento de queries: XGRIND[To102], XPRESS[Min03], XMLCompression [Bun03] y [Lam03].

Las dos primeras serán las más próximas al ámbito NFFI.

Cabe destacar Técnicas como XMILL [Lie00] llevan a cabo un procesamiento previo del mensaje XML separando sus componentes en ítems estructurales e ítems de datos. A partir de ahí se aplican técnicas que buscan patrones respecto a la semántica XML de forma que esa redundancia semántica sirva a la hora de obtener mayores tasas de compresión. XMILL tiene un ratio de compresión bastante bueno (hasta un 50%) y un rendimiento computacional aceptable.

Otro algoritmo destacado es XMLPPM, basado en la técnica denominada Multiplexed Hierarchical Modelling (MHM)[Che01] que se fundamenta en la predicción de secuencias mediante el esquema de codificación de textos por ajustes parciales (PPM)[Cle97]. PPM es un algoritmo de compresión adaptativo. Los documentos XML son modelados como un stream de eventos SAX. Según el tipo de token, éste se procesa en un modelo de codificación PPM distinto. XMLPPM tiene un rendimiento muy bueno en codificaciones/compresiones on-line, lo cual lo hace muy adecuado para entornos móviles y tácticos.

Exalt (An Experimental XML Archiving Library/Toolkit) [EXA] es un conjunto de librerías para la compresión de XML. Es OSS y se puede incorporar fácilmente a cualquier desarrollo al tener una licencia GPL V2. En Exalt se lleva a cabo una compresión sintáctica con la intención de explotar la naturaleza independiente del contexto de XML. Se utilizan técnicas basadas en códigos gramaticales[Kie00] para el análisis. Para optimizar la compresión se utilizan algoritmos predictivos.

El World wide Web consortium (W3C) ha puesto en marcha diversos grupos de trabajo para desarrollar estándares de codificación XML. Destaca sobremanera EfficientXML.[EFX]

3.7 Arquitecturas distribuidas orientadas a servicio y publish-subscribe.

3.7.1 Taxonomía

Actualmente los sistemas distribuidos han aumentado considerablemente su escala y los patrones de las dinámicas de sus entidades. Hay una demanda significativa de paradigmas de comunicaciones más flexibles y sistemas que reflejen dichas dinámicas desacoplando la naturaleza de las aplicaciones y a los productores de los consumidores.

La aproximación más en boga en los últimos años es la denominada web-service [WSE] que consisten en un conjunto de protocolos y estándares para el intercambio de información y la ejecución remota de servicios y procedimientos basados en el protocolo HTTP [RFC2616]. Lógicamente los web services se sustentan en la infraestructura subyacente, principalmente el paradigma de comunicaciones, que permita el desacoplo señalado y fomente la flexibilidad en el comportamiento del web service.

Genéricamente hablando los web services son servicios ofrecidos vía web (basados en el protocolo HTTP). Su objetivo principal es el desarrollo de aplicaciones distribuidas y el intercambio de información flexible y estándar. Respecto a los estándares sobre los que se sustenta hay que destacar a XML (eXtensible Markup Language) [XML] como la base de la mayor parte de estándares de web services al ser el meta-lenguaje sobre el que se definen, SOAP (Simple Object Access Protocol) [SOA] para la invocación remota, WSDL (Web Services Description Language) [WSD] para la descripción de las características del servicio y UDDI (Universal Description, Discovery and Integration specification) [UDD] para el desarrollo de servicios de directorio y descubrimiento de servicios.

En la literatura [WSE] se establece una taxonomía del los web services basada en los paradigmas de comunicación. De esta forma nos encontramos con los modelos que a continuación se detallan.

1) Modelo orientado a mensajes

Enfocado al intercambio de mensajes así como su estructura y mecanismo de transporte. No se preocupa de la semántica de los mensajes o de su etiología.

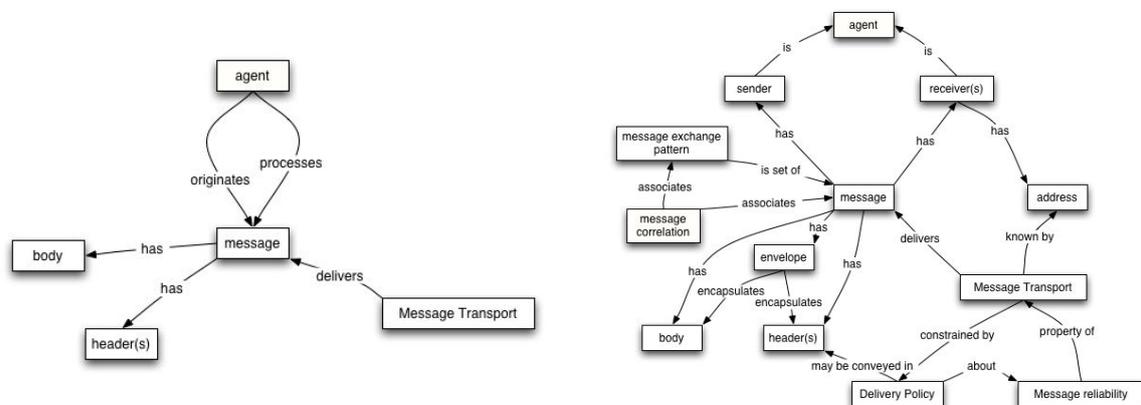


Figura 25: Modelo Orientado a mensajes

2) Modelo orientado a servicio

Centrado en el concepto de servicio provisto por un agente y solicitado por otro agente por medio de algún tipo de mecanismo de paso de mensajes. El servicio utiliza metadatos para expresar las semánticas.

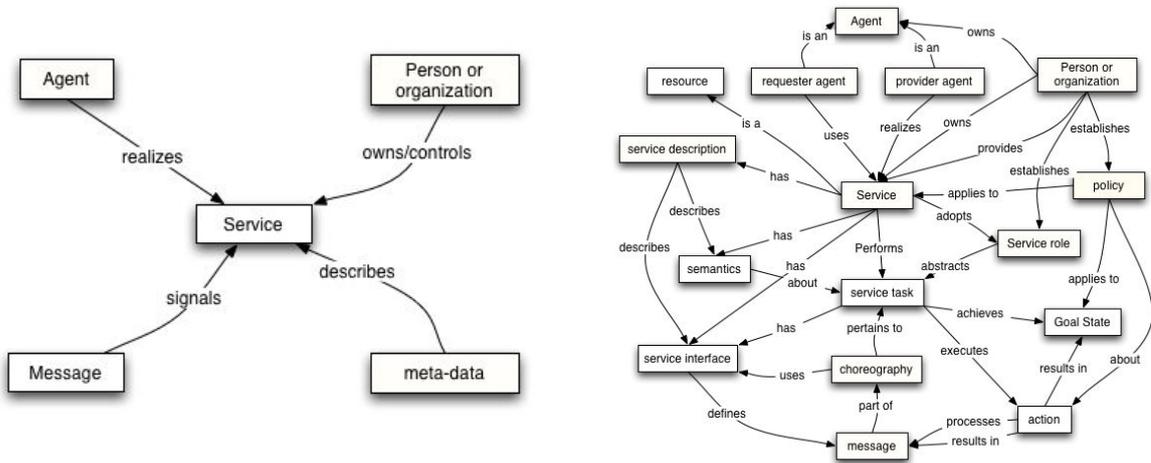


Figura 26: Modelo orientado a servicio

3) Modelo orientado a recursos

Centrado en los recursos propiedad de los agentes y las relaciones entre propietario y recurso.

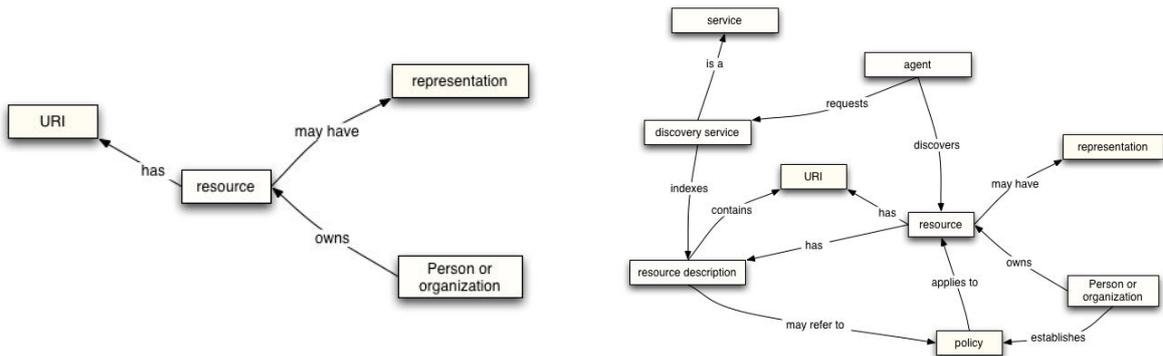


Figura 27: Modelo Orientado a recursos

4) Modelo orientado a las políticas de operación

Centrado en las restricciones que se aplican a los agentes y al comportamiento de los servicios. Las políticas pueden reflejar aspectos como la seguridad, calidad de servicio, gestión y aplicación.

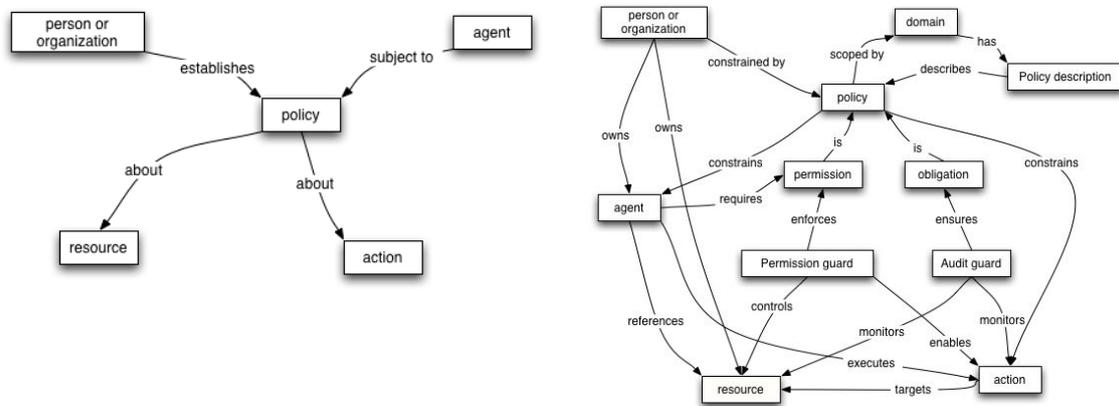


Figura 28: Modelo orientado a las políticas de operación

3.7.2 arquitecturas Publish/subscribe

En un sistema Publish/Subscribe los generadores de información publican datos/mensajes en un broker intermediario y los suscriptores registran suscripciones con dicho broker. El proceso de entrega de información es dirigido por eventos pues, cada vez que se recibe un evento 'nuevo mensaje', el broker comprueba que clientes son susceptibles de recibirlo. En función del tipo de los filtros de grano grueso a aplicar los sistemas publish-subscribe se separan en soluciones basadas en el tema y soluciones basadas en el contenido. En ambos casos, los mensajes son filtrados/separados en 'canales lógicos' que conducen la información en función de determinadas restricciones. En el primer caso, los mensajes se publican en grupos temáticas definidos por el broker mientras que en el segundo, los mensajes sólo se entregan al suscriptor si los atributos o contenidos de los mismos se ajustan a las restricciones definidas por los mismos.

En una descomposición de grano mas fino se pueden desglosar las aproximaciones existentes puesto que la noción de canal se extiende con métodos para caracterizar y clasificar el contenido de los eventos. Es el caso de muchas soluciones de control industrial presentes en la literatura como [Alt99] [TAL] [TIB] [Ske98].

En la práctica, las arquitecturas publish-subscribe basadas en temas introducen una abstracción de programación en la cual se mapean temas con canales de comunicación. Cada tema es visto como un servicio de eventos aislado, identificado por un nombre único y con un interfaz ofreciendo operaciones notify() y subscribe().

La aproximación basada en el contenido trata de mejorar determinadas limitaciones de la basada en temas como por ejemplo su falta de flexibilidad y expresividad. Para ello introduce la noción de suscripción basada en el contenido de los eventos considerados.

Así, los eventos no son clasificados de acuerdo a criterios externos predefinidos sino de acuerdo a las propiedades de los propios eventos. Estas propiedades pueden ser atributos internos de las estructuras de datos que soportan los eventos como en las soluciones Gryphon [Ban99], Siena [Car00], Elvin [Seg00], y Jedi [Cug01], o meta-datos asociados a los eventos, como en el Java Messaging Service [Hap02].

Para alcanzar ese grado de dinamismo tres aproximaciones fundamentales existen en el proceso de suscripción: strings, objetos template y código en ejecución.

Hay una variación del paradigma publish-subscribe denominada ‘basada en el tipo’. En esta aproximación, la noción de clase (kind) de evento se mapea directamente con la de tipo (type) de evento. Esta aproximación acopla el paradigma con muchos lenguajes de programación, con los beneficios que esto puede reportar. Ejemplos de esta aproximación son javaSpaces[Fre99] and TAO CORBA Event service [Har97] [Sch02].

Los beneficios principales de las arquitecturas publish-subscribe son el bajo grado de acoplamiento entre productores y consumidores (y de estos respecto a las características del propio sistema) y una mejor escalabilidad respecto a arquitecturas similares cliente-servidor. Además se promueve el filtrado de la información de forma que cada consumidor recibe justo lo que debe recibir.

Existen algunas desventajas como la sobrecarga de red debida al ancho de banda consumido en el intercambio de mensajes entre el broker y los productores/consumidores llevado a cabo para implementar el paradigma. Se precisa multicast para minimizar este problema así como para crear grupos lógicos a la hora de distribuir la información. Por otra parte, los brokers pueden constituir cuellos de botella debido a los picos de solicitudes a la hora de reservar recursos por parte de productores y consumidores. Por otra parte la seguridad en los brokers es un punto clave a estudiar.

En la literatura [Eug03] se señalan tres dimensiones fundamentales de desacoplo en las arquitecturas publish-subscribe:

- Desacoplo temporal: el desacoplo temporal descarga a los productores y consumidores de la necesidad de saber acerca de la otra parte pues será la arquitectura la responsable del intercambio de información.
- Desacoplo espacial: La interacción entre partes no requiere que haya una sincronía temporal entre las mismas.
- Desacoplo de sincronización: En este caso los productores no se bloquean mientras producen los datos. A su vez, los consumidores pueden ser notificados asíncronamente de la ocurrencia de un evento sin necesidad de estar muestreando continuamente al sistema.

Soluciones existentes:

- OpenQueue [OPE] es una implementación OSS (Open Source Software) de una arquitectura publish/subscribe basada en Java y actúa como plataforma para el Java Messaging service. Tiene interfaces para distintos lenguajes de programación.
- Modpubsub [MODb] es otro proyecto para desarrollar una arquitectura publish/subscribe architecture que tiene soporte para los siguientes lenguajes y plataformas: Perl, Python, PHP, JavaScript, C, COM/ActiveX/.NET, Java y Ruby, así como módulos para Apache. Es un desarrollo OSS con licencia BSD.
- AVIS [AVI] es un router de mensajes publish/subscribe que se ejecuta sobre una plataforma Java. Es un desarrollo OSS con licencia GPL.
- Xmlblaster [XBL] es un middleware de mensajería dirigido por eventos (MOM). Dispone de APIs para Java, C, C++, PHP, Perl, Python, C# y Visual Basic.net.
- OpenDA [ODA1] es un toolkit de .NET que facilita web services basados en publish-subscribe dentro de un paradigma request-response. OPenDA (OPc Data Access) implementa el middleware estándar XML OPC DA middleware Standard para el control de procesos industriales. Existe un port a C/GSOAP en [ODA2].
- gSOAP [GSO] es uno de los entornos de desarrollo de web services y arquitecturas publish-subscribe más extendidos en la comunidad Open Source. Tiene soporte para todas las características de web services (SOAP, WSDL, UDDI, etc.) y ha sido utilizado como infraestructura en muchas arquitecturas comerciales exitosas. Cabe destacar proyectos llevados a cabo Adobe, AOL, OASIS group, IBM BEA, IBM Tivoli access manager, Xerox o el proyecto Globus Grid, por mencionar algunos. Hay una completa API, gran número de herramientas y una gran comunidad de desarrolladores y usuarios detrás.
- Existen diversas implementaciones del Data Distribution Service standard (DDS) [Omg05] desarrollado por el OMG (Object Management Group). Por otra parte, también existen algunas implementaciones del Real Time Publish Subscribe (RTPS) Wire Protocol Standard [Den07] desarrollado por OMG. Sobre estas implementaciones se ha desarrollado diversas arquitecturas publish-subscribe. Por ejemplo, RtdSS [RTJ] es una implementación OSS basada en real time java de el DDS. Utiliza RTPS.
- BEA Weblogic [BEA] es una familia de productos basada en la plataforma J2EE que incluye un servidor de aplicaciones J2EE, una plataforma de integración de aplicaciones corporativa, un servidor de transacciones e infraestructura y servidor http para unix, Linux y MS Windows, entre otros. Dentro de esta familia de productos existen gran número de herramientas para implementar aplicaciones web service basadas en el paradigma publish-subscribe. Como paradigma de comunicaciones utiliza el Java Message Service (JMS).
- TIBCO [TIB] es una compañía de software centrada en arquitecturas orientadas a servicio (Service Oriented Architectures:SOA). Dispone de diversas soluciones de

mensajería y, una de ellas, Tibco rendezvous, es un entorno muy adecuado para el desarrollo y creación de aplicaciones event-driven robustas sobre su arquitectura publish-subscribe subyacente. Soporta muchas plataformas (Unixes, linux, Solaris, VMS, Mac OS X, Windows) y existen APIs disponibles para Java, C/C++ and Perl.

- GT4 [GT4] el toolkit open source de Globus es una tecnología fundamental para el "Grid," permitiendo a los usuarios compartir online ciclos de CPU, bases de datos y otras herramientas de manera segura. El toolkit incluye servicios software y librerías para la monitorización, descubrimiento y gestión de recursos. El sistema es completamente modular y sus servicios, interfaces y protocolos básicos permiten a los usuarios el acceso transparente a recursos remotos como si fueran locales, preservando el control sobre la propiedad de los recursos. Los cores de C y Java para el desarrollo de web services permiten la implementación de WS con soporte para Web service Resource Framework (WSRF) conformes a las especificaciones WS-Resource and WS-Notification.

3.7.3 arquitecturas Event-driven

Existen diversas soluciones en el dominio de middleware/CORBA que extienden el concepto publish-subscribe con el de canal de eventos para concentrarse en la naturaleza dirigida por eventos. Por otra parte algunas soluciones están orientadas al ámbito industrial y de aviónica, exhibiendo funcionalidades de tiempo real.

La implementación de publish-subscribe de TAO CORBA es una solución bien conocida en el ámbito de las arquitecturas de notificación event-driven. Ha sido extensamente tratada en la literatura [Sch02], y es una solución madura utilizada en muchos proyectos. Se dispone del código al ser una solución OSS. Posee funcionalidades de tiempo real para garantizar la entrega de eventos de tiempo real sobre una implementación de la especificación de Real Time CORBA[OMG03] [OMG06] de OMG.

COBEA(CORBA-Based Event Architecture)[Ma98] es una canal de eventos publish-subscribe basado en CORBA Event Service [OMG02] de OMG.

Hermes[Pie02] es un middleware publish-subscribe basado en eventos centrado en el desacoplo de sincronización y con orientación a objetos. Utiliza un algoritmo de routing escalable con nodos de rendezvous para minimizar el efecto de los broadcasts. Es una extensión de CEA(Cambridge Event Architecture)[Car01b] similar al CORBA Event Service.

ECHO [Eis00] es un event service muy similar al event channel de CORBA pero desarrollado para entornos de altas prestaciones. Es el canal de eventos del proyecto InfoSpheres[INF] de California Institute of Technology. ECHO permite: (i) extensión dinámica de tipos y reflexión, (ii) inserción y eliminación dinámica de componentes, (iii) interoperabilidad con Java y CORBA. Los canales son objetos distribuidos con flujos multiplexados. Existen agentes que controlan y eliminan la información replicada para reducir el consumo de ancho de banda.

En [Kai03] se presenta un canal de eventos de tiempo real orientado a escenarios industriales basado en el bus con garantías de tiempo real CAN [Cor02].

En ORBEXpress (commercial real-time CORBA Object request Broker (ORB)) hay una implementación del real-time event service descrito en [Bec01], muy similar a TAO. Tiene soporte para QoS y tolerancia a fallos.

En el proyecto CIAO [Wan03] [Edw03] una estructura de servicios de eventos federados [Den03] se ha implementado sobre una extensión del Corba Component Model(CCM). La idea básica es coordinar diferentes canales de eventos para filtrar y enrutar convenientemente los mismos en aplicaciones complejas.

Capítulo 4

Diseño e implementación de arquitecturas de mando y control para pequeñas unidades

4. Diseño e implementación de una arquitectura de mando y control para pequeñas unidades

4.1 Introducción

En este capítulo se va a describir la principal aportación científica de la presente tesis doctoral. Basándonos en los resultados de la investigación realizada en el capítulo anterior y en el conocimiento práctico adquirido sobre sistemas de mando y control y tecnologías asociadas y necesarias para su desarrollo, se diseñaron, desarrollaron e implementaron sistemas de mando y control de pequeñas unidades y sus arquitecturas con diversas aproximaciones. Dichos sistemas permitieron servir de banco de pruebas para los conceptos estudiados en el capítulo precedente y que se querían evaluar conduciendo a una serie de conclusiones como aportación científica del presente trabajo. Por otra parte, los propios sistemas desarrollados consideramos que son una aportación en si mismos puesto que no sólo sirvieron como plataforma de investigación sino que acabaron evolucionando en prototipos maduros y que finalmente están en uso por usuarios finales como el Ejército de Tierra español. Se considera la principal aportación científica de este trabajo la arquitectura, tanto de red como software, para sistemas de mando y control de pequeñas unidades que se describirá en el presente capítulo, a partir de la cual se desarrollaron las diversas implementaciones y que ha sido validada, como se detalla en el capítulo 4, por los sistemas desarrollados.

Una vez implementados diversos sistemas de mando y control, se probaron y validaron dichos sistemas mediante diversas pruebas oficiales por organismos de certificación, tanto a nivel internacional (OTAN) como a nivel nacional (JCIS y AT: Jefatura Central IS y atención Técnica del Ejército de Tierra). Con los resultados obtenidos en las pruebas llevadas a cabo, se propondrá una arquitectura de mando y control para pequeñas unidades que permita la implementación y validación de conceptos avanzados de C2 anteriormente estudiados para su aplicación, tanto en un ámbito militar como en la gestión de emergencias civiles.

Los sistemas de mando y control propuestos han sido validados en diversas pruebas llevadas a cabo por organismos tanto nacionales como internacionales. Aunque se detallará en puntos posteriores, cabe destacar principalmente dos arquitecturas y sus sistemas/implementaciones diseñadas y desarrolladas: el sistema de mando y control desembarcado y el sistema de mando y control de seguimiento de fuerzas propias o vehicular. Para ambos han existido diversas versiones y hay que destacar que son complementarios y que, como se verá posteriormente han sido integrados. Así, el sistema de mando y control de pequeña unidad desembarcado con inclusión de flujos multimedia fue evaluado y probado por la brigada de transmisiones (BRITRANS) en mayo de 2006 dentro del programa CWID'06 nacional de ese año. Dicho sistema fue mejorado con la inclusión de tecnología mesh y enlaces satélite y fue evaluado y probado en la UME (Unidad Militar de Emergencias) en mayo de 2007, Academia de Infantería de Toledo en Junio de 2007 y CWID 2007 nacional. En junio de 2008 fue evaluado y probado en el puerto de Valencia por parte de la guardia Civil dentro de las pruebas CWID 2008 a nivel nacional.

El sistema de mando y control de seguimiento de fuerzas propias fue evaluado y validado por parte de JCISAT en Abril de 2008 y Julio de 2008. Dicho sistema fue probado en el campo, dentro de unas maniobras reales, en mayo de 2008 por parte del Regimiento de Caballería Ligera Lusitania 8 en el campo de maniobras de Chinchilla, Albacete. Por otra

parte el sistema de seguimiento de fuerzas propias con inclusión de flujos multimedia con el concepto de 'sensor-on-the-net' fue evaluado y probado en las EPCIS (Escuelas prácticas CIS) de septiembre 2008. Dicho sistema fue adquirido por el ejército de tierra en diciembre de 2008 y actualmente está en uso por parte de la Brigada de Infantería Mecanizada (BRIMZ) X "Guzmán el Bueno" radicada en Cerro Muriano, Córdoba.

A nivel internacional el sistema se ha probado en los ejercicios OTAN Coalition Warrior Interoperability Demonstration (CWID) de los años 2007 y 2008, en ambos casos llevados a cabo en la base de Joerstaedmoen, Lillehammer, Noruega, y principalmente en los aspectos de interoperabilidad a nivel táctico.

Todas estas pruebas y evaluaciones se verán en el siguiente capítulo relativo a la validación del sistema. En el presente se describen las arquitecturas de mando y control propuestas y posteriormente desarrolladas en el contexto de la presente tesis.

A continuación se verán los componentes fundamentales de la arquitectura propuesta. En concreto se detallará la arquitectura global propuesta, sus características fundamentales y la arquitectura de red, que condiciona todo el diseño junto con la arquitectura software. Ambas son los constituyentes fundamentales de la arquitectura global propuesta. Posteriormente se verán los elementos particulares de dicha arquitectura, en concreto en el punto 4.3 se verá el modelo de datos empleado que actúa como núcleo del sistema, en el punto 4.4 se estudiará la arquitectura para el sistema desembarcado, tanto en su modalidad basada en Single Board Computer (SBC) como la basada en PDA así como la implementación basada en radios personales MESH. En el punto 4.5 se estudiará la arquitectura del sistema de seguimiento de fuerzas propias embarcado o vehicular, sus características de implementación, arquitectura software y de red y la arquitectura de réplica propuesta para el mismo. En el punto 4.6 se estudiarán los aspectos de interoperabilidad, tanto estratégica como táctica y finalmente en el punto 4.7 se detallarán las características de tiempo real de las distintas arquitecturas y sistema propuestos.

Además se podrá comprobar que mediante dichas arquitecturas propuestas se potencia, fomenta y facilita elementos como la autosincronización, agilidad, la mejora de la COP, se permite aplicar el concepto de 'power-to-the-edge' y, en definitiva, el cumplimiento final de los objetivos de una misión. Como se ha visto en el estado del arte, no existen métricas claras para dichos conceptos. Sin embargo, el uso de la opinión de usuarios experimentados y la mejora de su rendimiento al utilizar las herramientas objeto del presente trabajo consideramos que son factores suficientes. Por otra parte, aunque no medidas cuantitativamente (por faltar métricas) sí que se observan cualitativamente mejoras en aspectos como la autosincronización (por el transporte eficiente de la información y en tiempo útil que conducen a dicho beneficio), la agilidad por las características de reconfigurabilidad y adaptabilidad del sistema, power-to-the-edge por el hecho de permitir acceder a una mayor capacidad de mando y toma de decisiones a unidades de menor peso jerárquico y la mejora de la COP al permitir tener replicada la misma información sobre el teatro de operaciones en todas las unidades implicadas y en tiempo real (o mejor dicho en tiempo útil) a la vez que se ha contribuido a su mejora mediante la inclusión de flujos multimedia, cuando las tecnologías de red subyacentes lo permiten. En cualquier caso estos aspectos se verán en los siguientes puntos.

Parte de las propuestas y desarrollos de este apartado se enmarcan como contribuciones a los siguientes proyectos de investigación del plan nacional de I+D y de la Unión Europea.

- **TIN2004-03588** “C4ISR Multimedia aplicado a la gestión de emergencias”.
- **TIN2007-67410** “Integración de sensores en un sistema C4ISR multimedia para la gestión de emergencias”.

Financiados por el Ministerio de ciencia y tecnología y fondos FEDER

- **PASR-107900**-Mobile Autonomous Reactive Information system for Urgency Situations (MARIUS)
- **SEC6-PR-204100** “Common Intelligence and Traceability for Rescues and Identification operations” (CITRINE)

Ambos de la acción especial PASR (Preparatory Actions in Security Research) del sexto programa marco de la Unión Europea y el proyecto:

- **IST-34207** “DYnamic VIsual Networks” (DYVINE)

De la acción IST (Information Society Technologies) del sexto programa marco.

En dichos proyectos también ha existido una fase de validación de los sistemas diseñados y desarrollados. Los resultados de los mismos se podrán ver en el capítulo de validación.

Además de los proyectos anteriormente citados, este trabajo se ha enmarcado dentro de diversos convenios con las empresas más relevantes del sector de las tecnologías de mando y control, así como con el Ejército de Tierra español. Las distintas soluciones desarrolladas, como sistema de mando y control de pequeñas unidades se denominan SIMACOP a lo largo del presente documento. SIMACOP es el acrónimo de Sistema de MAndo y COntrol de Pequeñas unidades.

4.2 Arquitectura global propuesta

Tras la evaluación previa realizada en el estado del arte se estimó que se precisaba un nuevo enfoque a la hora de proponer una arquitectura para cualquier sistema de mando y control de pequeñas unidades a desarrollar. Se estimó que muchas de las soluciones existentes poseían las siguientes deficiencias a subsanar:

- Rigidez, falta de flexibilidad y capacidad de adaptación en sistemas y consecuentemente en procedimientos
- Dependencia muy estricta del medio de transmisión subyacente.
- Fuerte acoplamiento entre productores y consumidores.
- Arquitecturas, sistemas y soluciones ad-hoc
- Escasa utilización de COTS (Common Off-The-Shelf)
- Utilización de protocolos propietarios
- Inclusión de políticas y soluciones de tiempo real muy rígidas
- En muchos casos sistemas monolíticos, poco flexibles
- Falta de inclusión de información multimedia

Por otra parte se precisaba una aproximación que reflejara las necesidades y características de los entornos y operaciones tácticos puesto que muchas de las soluciones encontradas heredaban patrones de sistemas preexistentes de nivel estratégico. Se debe reflejar la rapidez con que cambian dichos entornos aportando flexibilidad y agilidad, el elevado grado de dispersión y distribución en el que se encuentran muchas veces las unidades operativas y su necesidad en muchas ocasiones de tomar decisiones por su cuenta aportándoles ‘power to the edge’ y capacidad de autosincronización. Se tiene que tener muy presente la característica asimétrica de muchos de los conflictos existentes hoy en día. Otra característica que se quería evitar era la interferencia de los sistemas en los procedimientos y en los operativos de forma que fueran lo más transparentes posibles a los usuarios.

La arquitectura global que se propone es multicapa y modular e intenta reflejar la estructura jerárquica (y por lo tanto la distribución geográfica) de los operativos implicados. Es importante destacar que el corazón de dicha arquitectura es la arquitectura de red que determinará las capacidades y funcionalidades que aquella poseerá. Además, la aproximación propuesta es dual y puede ser utilizada tanto en un ámbito civil como en uno militar. La modularidad permite un elevado grado de independencia respecto a tecnologías de red subyacentes y, en definitiva, una mayor flexibilidad.

La arquitectura global propuesta ha sido dividida en dos planos, por una parte una arquitectura de red y por otra una arquitectura software o de componentes de proceso. Con esta división se ha intentado desacoplar al máximo ambas arquitecturas así como poder especificar con mayor detalle sus características e interrelaciones.

4.2.1 Arquitectura de red

En la siguiente figura se puede observar su estructura general.

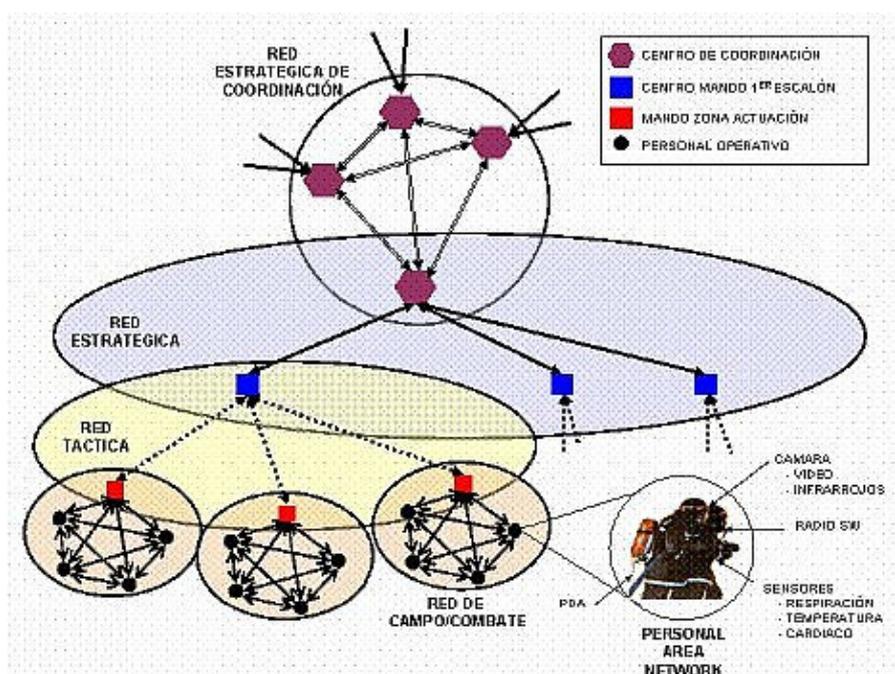


Figura 29: Arquitectura global propuesta

La arquitectura global incluye cinco niveles de red ordenados jerárquicamente: red de área personal, red de campo/combate, red táctica, red operacional y red operacional de coordinación.

El primer nivel de red que se considera es la denominada *red de área personal* (PAN, por sus siglas en inglés Personal Area Network) que como su nombre indica es una red de ámbito muy reducido entorno a un operativo individual y que engloba todos los sensores que puede acarrearse (particularmente vídeo, GPS, telemetría y bio-sensores). En dicha red siempre se dispondrá de un dispositivo computacional de mayor jerarquía que aglutinará dicha información sensorizada, le aplicará un determinado procesamiento y hará de pasarela hacia la red de campo/combate para la distribución de dicha información. La *red de campo/combate* interconecta a las distintas unidades individuales o visto de otro modo interconecta a las distintas PAN. Dadas las características de los enlaces a éste nivel y de las características y naturaleza de las operaciones a llevar a cabo, dicha red tiene la premisa de interconectar todos los nodos con todos, por cuestiones de redundancia y fiabilidad. Esto se ha probado con la utilización de tecnologías 802.11, aproximación ad-hoc, y tecnologías de red mallada, como se verá posteriormente. El siguiente nivel de red interconecta distintas redes de campo/combate y es la denominada *red táctica*. Típicamente estará constituida por

los distintos vehículos implicados en una operación, véase la solución de seguimiento de fuerzas propias, y constituye la parte fundamental de la arquitectura propuesta. Por encima de la misma se encuentra la *red operacional*, que conecta las distintas redes tácticas de una misma organización o agencia. El caudal de datos a transportar y procesar suele ser mayor pero también lo son las capacidades de los medios a éste nivel. Finalmente, la *red operacional de coordinación* permite conectar las redes operacionales de distintas agencias, permitiendo la compartición de información respecto a lo que está ocurriendo en el teatro de operaciones. En este nivel serán fundamentales los protocolos y tecnologías de interoperabilidad para poder permitir la transferencia de datos, siempre con unas restricciones particulares de entrega, entre organismos implicados en una operación conjunta.

Esta arquitectura de red propuesta conduce a una arquitectura software considerablemente distribuida donde cada nodo tiene una elevada capacidad de cómputo de forma que el procesamiento de la información se lleva a cabo parcialmente en cada unidad, aportando redundancia y fiabilidad en la generación de percepción y conocimiento a partir de datos crudos. Esto se verá con más detalle en la descripción de las soluciones propuestas. Por otra parte, los aspectos de la distribución eficiente y en tiempo útil han sido cuidadosamente considerados para que en todo momento se comparta la misma visión del teatro de operaciones en todos los nodos y en los casos en los que se comprueba que no es técnicamente posible el tener la misma visión de las operaciones en todo momento, se pueda minimizar o atenuar el desfase o aplicarlo a variables que no son relevantes en la generación de una adecuada COP. Esto se verá en los puntos de réplica de la información y de tiempo real.

Un elemento clave en la elaboración de dicha arquitectura fue aplicar el concepto, estudiado en el estado del arte, de la adecuación cognitiva de la información entregada. Así, en todo momento se intenta evitar la sobrecarga cognitiva en los operativos implicados en primera línea de una operación. El criterio del presente trabajo es que se deben comportar como meros colectores de datos para la generación de la COP, que será representada en escalones superiores de la red, con una menor proximidad a la inmediatez de la acción y una mayor capacidad para la toma de decisiones. Sin embargo, en la solución desembarcada con PDA que se estudiará posteriormente, sí que se ha dotado de la capacidad de observar, hasta cierto nivel, la COP al jefe de la unidad de escalón inferior, por estimarse, por parte de los usuarios finales, que esa carga de información reducida y circunscrita a su ámbito de intervención sí que le es de utilidad y no introduce sobrecarga. En cualquier caso, los flujos de información en sentido descendente se considera que deben ser principalmente órdenes, recibidas por vía vocal a través de los medios radio.

Además, como se verá en puntos posteriores donde se detallan características de los sistemas implementados, se ha intentado evitar que los sistemas interfieran en la operativa normal de las unidades, tanto físicamente como a nivel de procesos y operativa.

Esta arquitectura global fue posteriormente ampliada con la inclusión masiva de redes de sensores en el último escalón, dentro del proyecto CICYT TIN-2007-67410, “Integración de sensores en un sistema C4ISR multimedia para la gestión de emergencias” como se puede ver en la siguiente figura:

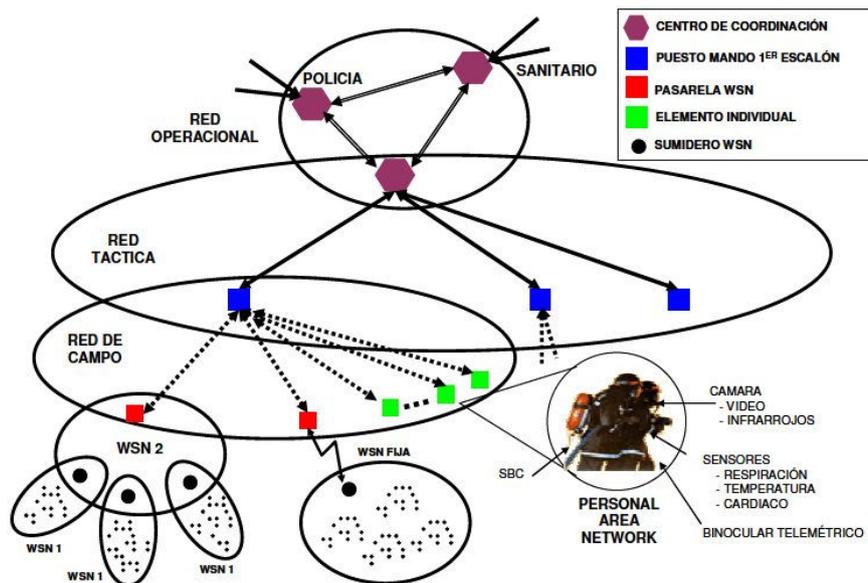


Figura 30: Arquitectura global con inclusión de redes de sensores

Las redes de sensores, en este caso, tendrían una funcionalidad similar a la que tienen las PAN en la figura previa pero sin implicar a un operativo humano. Dicha red puede incluir una única WSN (Wireless Sensor Network) o bien aglutinar varias, como se observa en la esquina inferior izquierda de la figura. Dichos sensores son desplegados por los operativos humanos durante la intervención o bien desplegados pseudo-aleatoriamente sobre la zona previo a la intervención por medios especiales, por ejemplo en el caso de incendios o emergencias con vertidos altamente tóxicos donde los operativos humanos no pueden acceder con facilidad. En este mismo caso los sensores pueden ser incluidos en vehículos aéreos no tripulados (UAV por sus siglas en inglés, Unmanned Aerial Vehicles) siempre atendiendo al payload que puede soportar como restricción fundamental y que permiten la monitorización y telemedición de zonas potencialmente muy peligrosas para operativos humanos.

La posición de los sensores no tiene porque estar predeterminada o diseñada, lo que permite el despliegue rápido y aleatorio en terrenos inaccesibles o en operaciones de crisis o gestión de desastres. Una característica a destacar de las WSN es la capacidad de autoorganización y de realizar esfuerzos cooperativos, así como la tolerancia a fallos que exhiben en el comportamiento global y su bajo coste.

Los sensores están equipados con procesadores, lo que permiten que en lugar de enviar los datos tal y como son capturados sean capaces de realizar un cierto procesado, permitiendo acelerar los mecanismos de fusión de datos. Este mismo papel realizaba el nodo aglutinador en la PAN.

En cualquier caso la red se puede descomponer en las siguientes subredes:

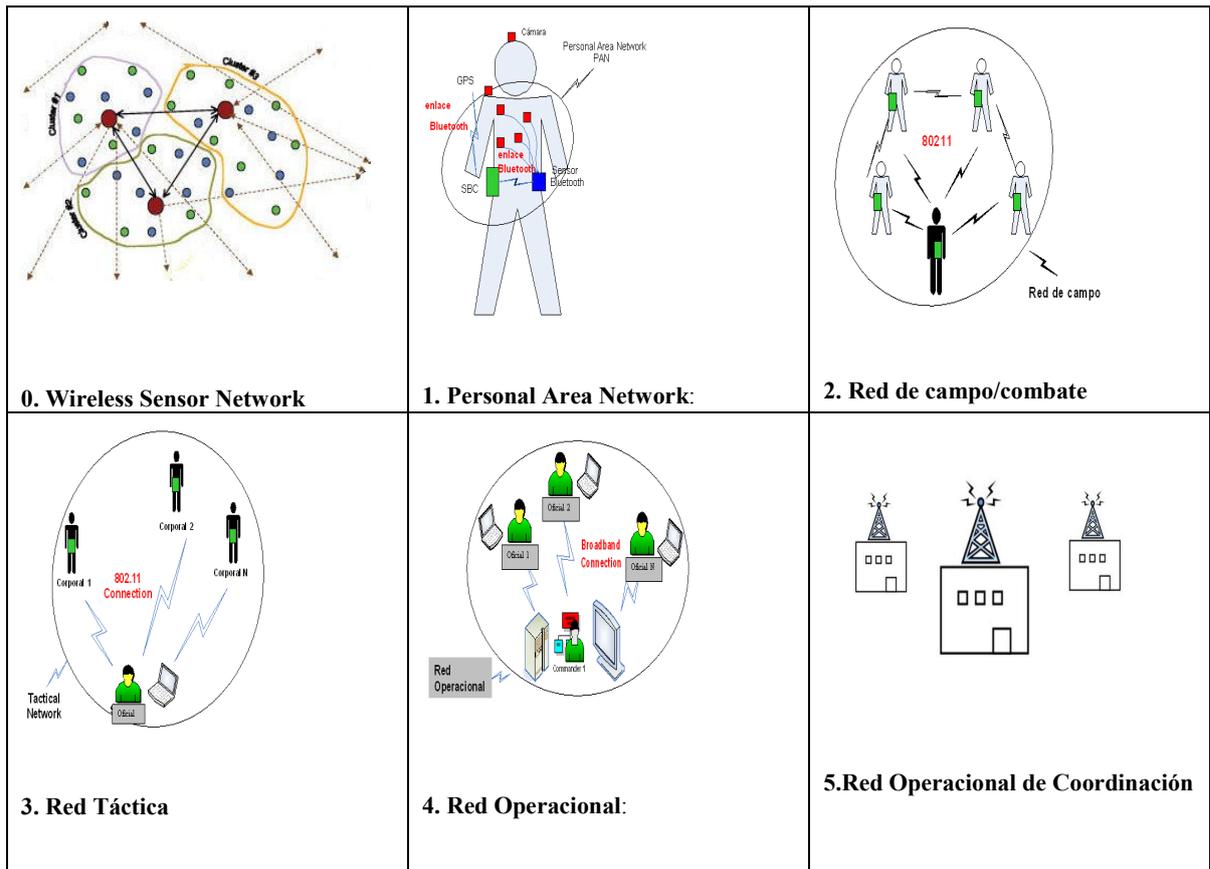


Figura 31: Distintas subredes constituyentes

- *Red de interconexión de sensores o WSN:* permitirá la transferencia de información entre sensores y la autoorganización de la misma, siempre atendiendo a parámetros de consumo energético, tanto en la operación de los nodos individuales como en el enrutamiento de datos. Tecnologías como ZigBee (802.14) [ZIG] y Ultra Wide Band (UWB) [ISO26907] se utilizarán existiendo nodos pasarela que transferirán información de la WSN al nivel superior, principalmente por tecnología Wifi.
- *Personal Area Network (PAN):* se encarga de conectar los sensores que porten unidos a su cuerpo los operativos con el Single Board Computer (SBC) o PDA que gestiona todos los flujos a nivel de operativo. Este tipo de sensores se comunicará mediante tecnología inalámbrica, básicamente BlueTooth y Ultra Wide Band (UWB).
- *Red de campo/combate:* interconecta al personal que está operando en la zona de actuación (hotspot) entre sí y con el mando, que se encuentra junto a los operativos en zona de actuación (SBC, PDA y/o portátiles). Se utiliza tecnología inalámbrica como WLAN (802.11), redes mesh como las radios SpearNet de ITT y WiMAX móvil (IEEE 802.16e). Debe soportar todos los flujos multimedia de un conjunto de operativos.
- *Red Táctica:* conecta al personal de primer escalón de mando con los mandos de las diferentes unidades operativas, para que estos transmitan la información destinada a cada uno de los individuos en la zona de actuación a través de la red de combate. Además es el corazón de toda la arquitectura de red pues interconecta a las distintas unidades embarcadas en vehículos estableciendo las mallas de los distintos niveles

jerárquicos. Se emplea tecnología inalámbrica WLAN, redes móviles comerciales (UMTS, GPRS), WiMAX fija (IEEE 802.16 -2004 d) y/o móvil o comunicaciones vía satélite, dependiendo de la cobertura y despliegue de las unidades operativas. En el caso de soluciones militares se empleará comunicaciones VHF, HF y los medios satélite anteriormente citados. Es de destacar que en el caso de VHF y HF el ancho de banda disponible cae drásticamente constituyendo en ese caso los enlaces cuellos de botella que determinan la existencia de ‘islas de información’, principalmente multimedia. En cualquier caso, la información relevante para un sistema de mando y control requiere poco ancho de banda y siempre será transportada.

- *Red Operacional*: conecta el centro de coordinación de una determinada organización con los distintos mandos. Se utiliza fundamentalmente enlaces satélite o de fibra óptica. En el caso de existir varias redes estratégicas debería existir flujo de información entre los centros de coordinación de nivel superior, por lo que se podría plantear la existencia de una red estratégica de coordinación global o red operacional de coordinación.
- *Red Operacional de Coordinación*: que interconecta las redes de distintas agencias. El problema fundamental a resolver en esta red es la interoperabilidad, principalmente a nivel de tipos de datos y de protocolos de comunicación.

Como se puede observar la arquitectura ha sido diseñada de manera muy modular para poder intercambiar en todo momento tecnologías de red a la hora de conectar los distintos escalones. Por otra parte las características principales de la arquitectura de red y que han determinado el diseño de cada uno de los elementos en las distintas soluciones son las siguientes:

- Tolerancia a fallos para garantizar la robustez de las distintas subredes: Los distintos elementos de la arquitectura han sido diseñados para que sean capaces de recuperarse ante fallos o variaciones críticas del entorno. Por ejemplo, en los SBC que se estudiarán en un punto posterior existen watchdog que monitorizan el estado de funcionamiento de los mismos y en el caso de fallo en algún servidor o sensor lo devuelven a un estado consistente. En el caso de la infraestructura de adaptación de red del sistema de FFT desarrollado en Windows XP, y que también se verá en puntos posteriores, existen servicios que comprueban que los enlaces siguen activos, que la conexión con los sensores está disponible, etc. Y en el caso de existir algún problema restituyen el sistema a un estado estable.
- Multicast para garantizar la escalabilidad, siempre y cuando sea posible. Esto se ha llevado a cabo en redes wifi (a/b/g) pero sin embargo no se podido implementar, por limitaciones tecnológicas, en redes de HF, VHF, Wimax y satélite. Sin embargo en dichos casos se ha seguido la aproximación de segmentar la red en mallas de muy pocos nodos (típicamente 4-5) para limitar los dominios de colisión e incorporando nodos que hacen de pasarela y router entre mallas.
- Inclusión de protocolos de tiempo real como RTP/RTCP/RTSP reforzados por estrategias de planificación y asignación de recursos de tiempo real en los sistemas operativos, tanto en cada nodo particular como a nivel distribuido. Esto se verá en detalle en puntos posteriores.
- Las redes de campo/combate y red táctica son MANETs (Mobile Ad-hoc Networks). Esto se probó fundamentalmente en la versión del sistema embarcado que implementaba una tecnología mesh o mallada. Esta aproximación se estima muy adecuada para las

características de dicho nivel de red y de los procedimientos aplicados en dicho escalón jerárquico, tanto en agencias civiles como militares.

- Suficiente ancho de banda para transmitir todos los flujos implicados, principalmente los multimedia. Monitorización y gestión del ancho de banda para el caso en el que este sea un recurso limitado, ya sea de un orden de magnitud tal que con muchas restricciones permite al menos un flujo multimedia o bien que no sólo no los permita sino que introduzca dificultades incluso para el transferencia de simples posiciones.
- Integración de tecnologías de red heterogéneas: IEEE 802.11a/b/g, Bluetooth, Wimax, HF, VHF, mesh propietario, GSM/GPRS, UMTS, fibra óptica y comunicaciones satélite de manera completamente transparente para el usuario y fácilmente conmutable. Todo esto ha sido probado y validado.

3.2.2 Arquitectura Software

Por otra parte, toda la arquitectura del sistema C4ISR ha sido diseñada cumpliendo las especificaciones del framework para desarrollo de arquitecturas C4ISR [C4I97] [C4I07] del departamento de defensa de los Estados Unidos. Este framework aporta una mejor gestión y control sobre los productos y ciclos de desarrollo y una Adecuada correlación entre los objetivos de sistemas, operativos y tecnológicos.

La arquitectura está basada en estándares para cada área de desarrollo. De esta forma tenemos, para la parte software: MPEG, sistemas operativos que se adhieren a POSIX, protocolos TCP/IP y protocolos IETF para cualquier transferencia de datos, estándares en formatos cartográficos, estándares OTAN de interoperabilidad, etcétera. Por otra parte, para la parte hardware hay que destacar que se han utilizado soluciones estándar en todos los elementos que ha sido posible: PC104+ para la arquitectura del SBC, 802.11 a/b/g, Bluetooth, Wimax fijo y móvil, portátiles PC-clónicos aunque militarizados y ruggedizados para la solución vehicular, PDA con Microsoft Windows CE, etcétera. El único elemento hardware que no ha podido ser completamente adherido a estándares han sido las radios de VHF y HF, por su naturaleza claramente propietaria.

Otra característica fundamental de la arquitectura propuesta y desarrollada ha sido la utilización de sistemas y arquitecturas software basadas en código libre (OSS, por sus siglas en inglés Open Source Software), siempre que ha sido posible. Esto nos aporta una serie de ventajas debido a la disponibilidad del código fuente del sistema operativo (en el caso de soluciones Linux, en el caso de Microsoft Windows 2000 o XP evidentemente no) y de todas las aplicaciones, utilidades y drivers. En cualquier caso incluso en las soluciones basadas en SO Windows se ha optado por aplicaciones o servidores OSS para poder tener un mayor control sobre los mismos y una mayor integración con el código por nosotros desarrollado. Como ventajas de la aproximación OSS cabe destacar:

- Reusabilidad
- Mucho más modular y configurable. Por ejemplo, hubiera sido difícil embeber nuestras aplicaciones en el SBC mediante un sistema operativo propietario, salvo que lo hubiéramos hecho tal y como dicho SO permite, restringiéndonos el diseño. Por otra parte no hubiéramos podido 'customizar' el S.O y sus componentes al SBC (Single Board Computer), o lo hubiéramos podido hacer con un grado de detalle muy grueso.
- Fiabilidad, control de fallos.

- Longevidad de los proyectos de código libre respecto a los propietarios.
- Extensibilidad.
- Robustez.
- Soporte por parte de una extensa comunidad de desarrolladores y usuarios en la mayoría de los casos.
- Independencia de fabricantes.
- Reducción clara de costes, aunque se precisa un mayor esfuerzo de ingeniería y personal cualificado.
- Independencia de requerimientos de licencias, problemas de copyright, etcétera en la explotación comercial del producto.

Este último punto precisa ser matizado pues en la versión de seguimiento de fuerzas propias, al ser adquirida por el ET, se precisa llevar a cabo una serie de modificaciones para adherirse a la Arquitectura Técnica Unificada (ATU) que se vio en el capítulo de estado del arte. Dichas modificaciones incluyen la utilización de determinados paquetes software y servidores que son propietarios pero que el organismo certificador ha considerado exigibles y que fuerzan a la solución desarrollada a tener determinados módulos que no se adhieren al requisito arquitectónico de OSS. Por otra parte también es importante destacar que en el caso de OSS, las distintas licencias existentes (GPL, LGPL, Berkeley, etcétera) tienen una serie de condicionantes que en algunos casos llegan a ser restrictivos de cara a la explotación comercial, como el conocido efecto vírico de la licencia GPL.

Otro elemento prioritario en la arquitectura desarrollada es la interoperabilidad. Para poder garantizar un elevado grado de interoperabilidad en las áreas que competen a un sistema de mando y control de pequeña unidad se emplearon los estándares más extendidos en el ámbito de sistemas de mando y control, tanto en el área de modelo de datos (C2IEDM) como en el área de intercambio de información sistemas (NFFI), así como el uso de tecnologías web y orientadas a servicios (SOA). Todo esto se extenderá en puntos posteriores.

Por último, todos los flujos a entregar, tanto datos sensorizados como órdenes, deben cumplir requerimientos de tiempo real. Es por ello que se ha desarrollado la arquitectura para utilizar sistemas operativos de tiempo real (RT-Linux) y protocolos de red de tiempo real, como RTP y RTSP. Como se verá en el punto 3.7 se han probado diversas soluciones de tiempo real para adecuarse a cada una de las implementaciones llevadas a cabo en la presente tesis, fundamentalmente la solución desembarcada y la de seguimiento de fuerzas propias vehicular.

Con estas premisas se propone la siguiente arquitectura software genérica para los elementos de proceso:

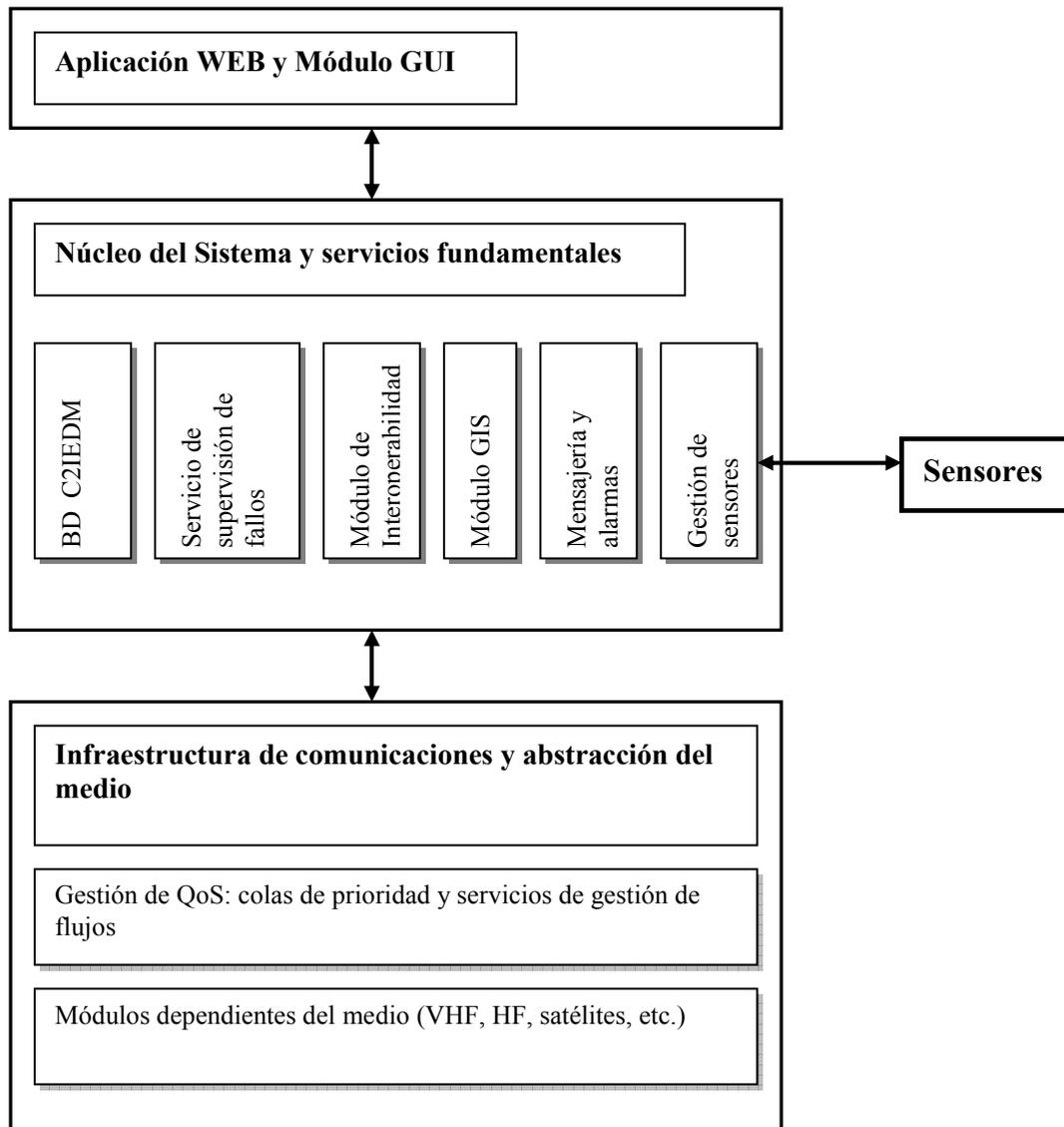


Figura 32: Arquitectura software propuesta

La arquitectura se descompone en tres elementos principales: el nivel de aplicación, el núcleo del sistema y la infraestructura de comunicaciones. De esta manera se ha buscado la modularidad y el desacople entre componentes software.

- En el *nivel de aplicación* se deben ubicar los distintos módulos que permiten la representación de la información sobre el teatro de operaciones a los usuarios. En la arquitectura software propuesta se ha optado por la utilización de aplicaciones basadas en tecnologías web. Gracias a ello se permite la flexibilidad y modularidad puesto que pueden ser utilizadas desde cualquier sistema operativo e incluso desde máquinas que carezcan de base de datos o servidor web. Así, cualquier nodo dotado de un navegador puede acceder a la COP, si está autorizado para ello. El diseño del GUI se recomienda que siga los principios de las teorías cognitivas más en boga, como por ejemplo [Rot01] [Sch00] para facilitar el acceso a la información, minimizar la sobrecarga cognitiva y facilitar la automatización de tareas.

- Inmediatamente bajo nos encontramos el nivel del *núcleo del sistema*. En el mismo se encuentran los componentes software fundamentales de todo sistema de mando y control a nivel de nodo. Así, en el mismo debe existir un módulo de Sistema de Información Geográfica (SIG) que trate, almacene y facilite la representación de toda la información geográfica. Fuertemente acoplado con el mismo estará un Sistema de Gestión de Bases de Datos (SGBD) donde se almacene toda la información relevante a una operación. La recomendación para la arquitectura software propuesta es la utilización del estándar OTAN C2IEDM (Command and Control Information Exchange Data Model) [C2I] y que se facilite la adaptación al futuro estándar JC3IEDM (Joint C3 Information Exchange Data Model) [JC3] cuando éste esté plenamente desarrollado. Este núcleo debe estar provisto de un módulo de gestión de sensores que permita la conexión de gran número de sensores (fuentes de vídeo, GPS, señales biomédicas, información telemétrica, integración con datos de redes de sensores, etc.) y la obtención de información e integración de la misma en la arquitectura propuesta. Además, dicho módulo debe permitir la fusión de dicha información sensorial para elaborar conocimiento a partir de datos crudos permitiendo entregar a cada nivel de mando la información que realmente precisa en cada momento. Dicho módulo software de fusión sensorial, ubicado en cada nodo, trabajará cooperativamente con los módulos de sensores de otros nodos para elaborar ese conocimiento de manera distribuida, como aproximación más eficiente. Otro módulo incluido en el núcleo del sistema será el que gestione los servicios avanzados más allá de la mera replicación de posiciones dentro de un sistema de seguimiento de fuerzas propias, esto es, servicios como la detección, diseminación y validación de amenazas, envío de alarmas prioritarias o servicios de mensajería o ‘chat táctico’. Por otra parte, será básica en el núcleo del sistema la existencia de un módulo de supervisión de fallos y recuperación de caídas, tanto a nivel intranodo como a nivel internado. En el primer caso dicho módulo monitorizará el estado del sistema y su funcionamiento, así como el del entorno y factores exteriores (correcto funcionamiento del subsistema de vídeo, por ejemplo) y detectará cualquier posible estado erróneo recuperando el sistema a un estado consistente. En el caso del nivel intranodo, el módulo monitorizará determinadas variables exteriores (niveles de ancho de banda o conectividad en los enlaces existentes, por ejemplo) permitiendo, de manera coordinada con los módulos de supervisión de otros nodos, acciones tales como la reconfiguración de la topología de red en el caso de la caída de determinados enlaces. Por último, dentro de éste núcleo del sistema se propone la inclusión de un módulo de interoperabilidad que, gracias a soportar determinados mecanismos y protocolos estándar, permita la interconexión del sistema con otros equipos de otras agencias y organismos, desarrollados con arquitecturas potencialmente muy distintas, de forma que se pueda establecer un intercambio efectivo de información relevante para el cumplimiento de la misión.
- Finalmente, existe un tercer nivel en la arquitectura software propuesta denominado *infraestructura de comunicaciones y abstracción del medio*. Este nivel será el encargado de gestionar toda la capa de comunicaciones con el resto de nodos y de abstraer al resto de niveles de la naturaleza y características de las mismas. En este nivel se exige la utilización de pilas TCP/IP y el desarrollo y utilización de protocolos de adaptación para los medios radio que no soporten dicho estándar todavía, la utilización prioritaria de UDP debido a: el uso de medios radio con elevadas tasas de error y escaso ancho de banda así como la inclusión de flujos multimedia y las comunicaciones en tiempo real o, en su defecto, en tiempo útil. Por otra parte, en este nivel de la arquitectura software deben existir módulos que

permitan una eficiente gestión de los flujos a entregar y la calidad de servicio en las comunicaciones. Así, se deben implementar colas de prioridad según sea cada flujo a tratar. Por otra parte, en dicho módulo deben existir elementos que permitan la adaptación de los intercambios de información entre nodos a la naturaleza de los medios por los que se van a comunicar. Por ejemplo, en el caso de las comunicaciones HF donde el canal es símplex y con elevado retardo por transferencia, se deberán adaptar las pautas de comunicación a dichas peculiaridades evitando los ACK por paquete y las retransmisiones, entre otros factores a tener en cuenta. Por otra parte, deberán existir colas de prioridad en función del medio de comunicaciones subyacente que se va a utilizar para el envío de una información dada. De esta forma el tratamiento de las prioridades será bidimensional según el flujo en cuestión y el medio por el que se envíe. Esto entronca con el hecho de que en la parte mas baja de la arquitectura existirán unos módulos software, *drivers*, para la comunicación con cada uno de los medios radio a utilizar, adaptados a sus peculiaridades y características. Con esta aproximación de comunicaciones propuesta creemos que se consiguen los objetivos de abstraer a las capas superiores de la naturaleza de los medios radio subyacentes y, por otra parte, se consigue tratar adecuadamente y con el nivel de prioridad correspondiente a cada flujo, según sea este y según se transmita por un medio u otro.

Por otra parte, la arquitectura software se ha diseñado considerándola como extensión del concepto de “servicio de integración de sensores”. De esta forma, la misma puede ser vista como un servicio que interconecta distintos sensores y sus flujos asociados con los nodos de cómputo donde la información será procesada y el conocimiento elaborado así como con los nodos donde hay puestos de mando y control donde será representada. Esto se puede ver en el siguiente esquema:

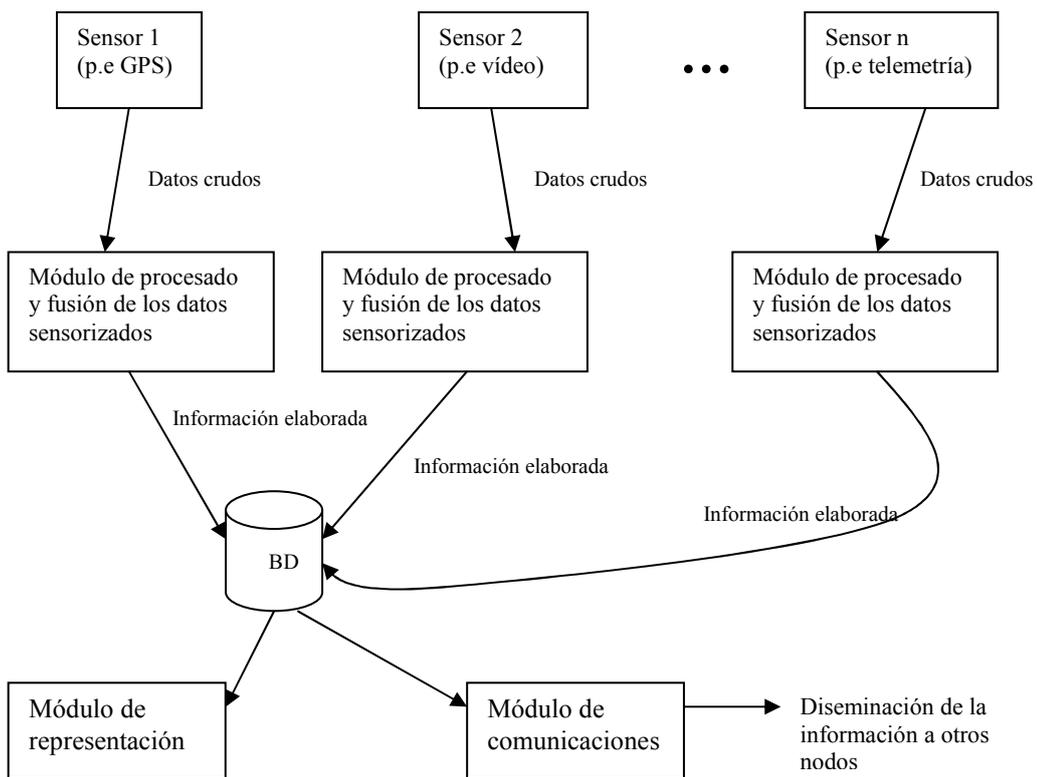


Figura 33: Integración de sensores en la arquitectura

4.3 Modelo de datos

El corazón de todo sistema de mando y control es su modelo de datos. Es el elemento fundamental y definitorio de la potencia descriptiva del mismo, principalmente a la hora de poder interoperar con otros sistemas de mando y control, ya sean militares y/o civiles.

Todos los prototipos desarrollados, tanto los descritos hasta ahora como los que se verán a continuación, utilizan el modelo de datos C2IEDM (Command and Control Information Exchange Data Model) desarrollado por Multilateral Interoperability Programme (MIP) [C2I] en su versión 6.15e. Este modelo de datos es muy complejo, con gran número de tablas (207) para poder reflejar la variabilidad de los agentes y elementos implicados en una operación así como sus interrelaciones. Además, las dependencias por integridad referencial hacen que incluso la operación más simple en el mismo acarree un gran número de pasos cuyo no cumplimiento de manera estricta conduce a errores en el tratamiento de las bases de datos.

Sin embargo, en un entorno táctico donde se tiene que replicar únicamente posiciones e identificadores y lo que se busca es la simplicidad se ha optado por adaptar el modelo tomando únicamente un muy reducido subconjunto del mismo. De esta forma, el modelo de datos se adecua al estándar internacional de más amplio uso pero se limitan sus características para ajustarlas a las necesidades reales de sistemas de mando y control de pequeñas unidades limitando el impacto negativo que podría tener a nivel de sobrecarga de CPU, disco, consumo de ancho de banda, complejidad en implementación y complejidad de uso a la hora de establecer contratos, etc.

El estudio, evaluación, implementación y validación del modelo de datos se realizó en el marco de otra tesis doctoral [Car07] llevada a cabo dentro del grupo de investigación de Sistemas de Tiempo Real Distribuido.

En la siguiente figura se pueden ver con más detalles las tablas implicadas.

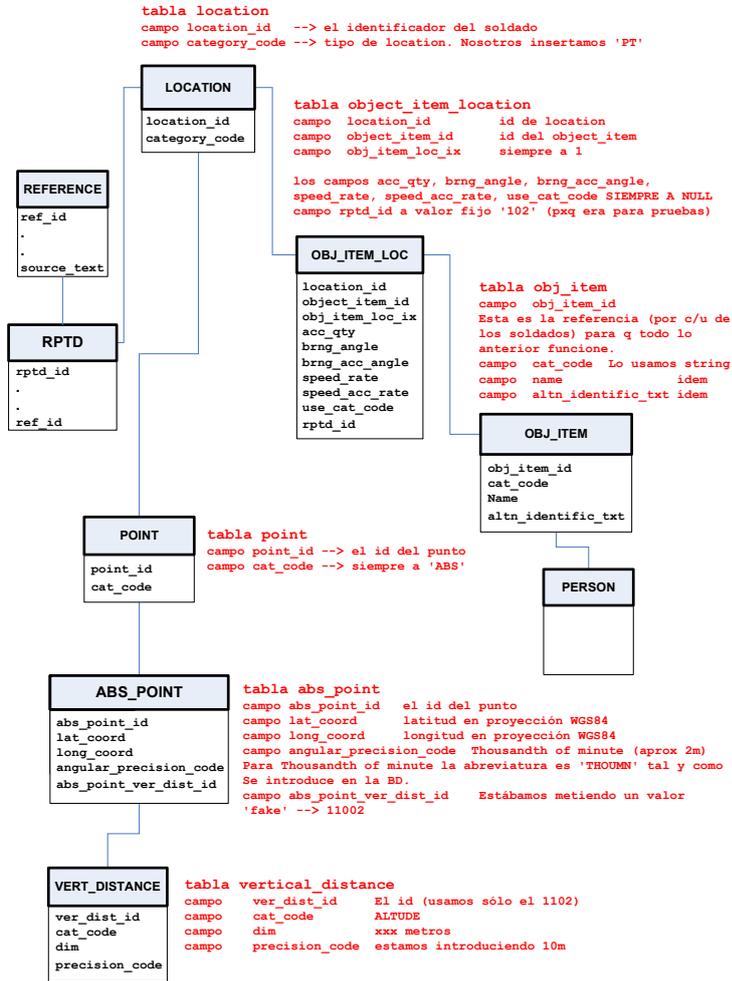


Figura 36: Esquema de las tablas utilizadas

4.4 Sistema desembarcado

En el presente punto se presentan tres arquitecturas de mando y control para el seguimiento de unidades individuales y desembarcadas llevadas a cabo en el curso de esta tesis. En ambos casos se ha desarrollado un hardware y un software específico para ser llevado por operativos humanos en la línea del concepto de *weareable computer* [Qin98] de forma que les permita ser sensores y actuadores en el teatro de operaciones y, en la segunda de las soluciones que se verán, también entregarles cierta información acerca de la evolución del mismo para ayudarles en la toma de decisiones. En ambas soluciones se incluye, como elemento destacado toda una serie de sensores dentro de la denominada PAN, fundamentalmente cámaras de vídeo. Además ambos casos están completamente integrados en la solución global de seguimiento de fuerzas propias vehicular de forma que una de sus principales utilidades es la de ser utilizado cuando el operador humano (ya sea de una agencia civil o militar) se baja del vehículo, que está dotado del sistema de mando y control, y se le permite seguir conectado, como una extensión del mismo.

4.4.1 Implementación basada en Single Board Computer (SBC)

4.4.1.1 Descripción global

Se ha desarrollado un prototipo del bucle Puesto de mando y control (1er escalón) \Leftrightarrow operativo y posterior interconexión entre puestos de mando. El prototipo implementa las redes PAN y red de campo/combate así como la red táctica pero con tan sólo una malla para la interconexión de puestos de mando. Dicho prototipo fue probado y evaluado en mayo de 2006, dentro de las pruebas CWID'06. Este prototipo fue el principal resultado del proyecto del plan nacional de I+D TIN2004-03588.

Dicho prototipo entrega los flujos de:

- Posición GPS (1 muestra/segundo)
- Señales biomédicas:
 - electrocardiograma (100 muestras/segundo)
 - temperatura (1 muestra/segundo)
- Vídeo en perspectiva subjetiva a 25 frames por segundo.

El esquema de dicho bucle es el siguiente:

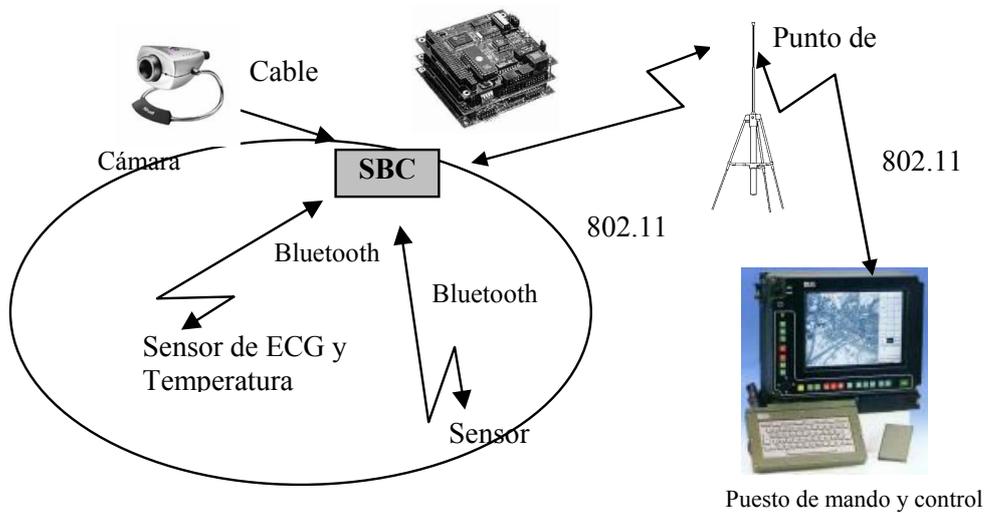


Figura 37: Solución basada en SBC

Este prototipo utiliza como hardware un SBC (Single Board Computer) en los nodos de los operativos que recopila la información de sensores GPS, ECG y cámara de vídeo, todos ellos COTS, conectados mediante Bluetooth, constituyendo la denominada red de área personal o PAN. Por otro lado, los distintos SBC de cada uno de los operativos se interconectan entre ellos y al puesto de mando y control mediante 802.11a y, como puede verse en la figura, mediante un punto de acceso con antena externa de ganancia añadida, para aumentar las coberturas.

Los flujos “en bruto” obtenidos de los sensores son procesados en el SBC para elaborar y estructurar la información que se precisa: se obtienen pulsaciones, latitud y longitud y se codifica el vídeo. Además se disparan alarmas, si es necesario, relativas a condiciones vitales extremas de los operativos.

En el puesto de mando y control, los flujos se sincronizan y la información se elabora a más alto nivel para entregar la visión del teatro de operaciones a la aplicación de mando y control.

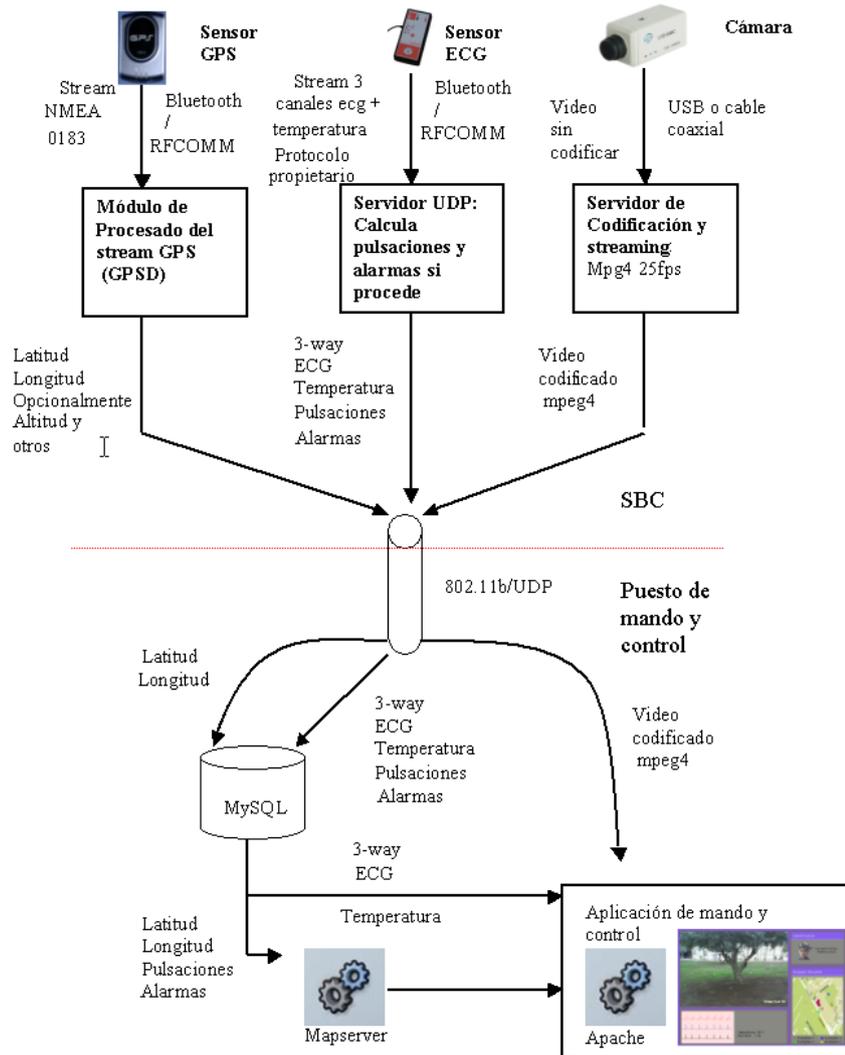


Figura 38: Arquitectura software y flujos implicados

Además, toda la información sensorizada se recoge en bases de datos pudiendo ser utilizada para propósitos de análisis post-operación. Evidentemente esto supone un gran volumen de información por lo que se establecen filtros para discriminar la información que se debe almacenar permanentemente y la que se descarta tras caducar su vigencia.

Para conseguir elaborar una correcta visión del teatro de operaciones que mejore el Situation Awareness de los responsables del puesto de mando y control, es preciso una vez obtenida, procesada y sincronizada la información, presentarla adecuadamente en una aplicación de mando y control. Dicha aplicación debe mostrar toda la información que se requiere, ni más ni menos para evitar la escasez o la sobrecarga cognitiva [Hic03]. Desde este punto de vista, se puede considerar que un sistema C4ISR tiene tres dimensiones de corrección: lógica, temporal y cognitiva. Para esta última, a diferencia de las primeras, no existen métricas y herramientas que permitan su desarrollo analítico requiriéndose un desarrollo muy ad-hoc al contexto de la aplicación. Además debe tener un interfaz muy simple, intuitivo y preciso, pues las personas deben tomar decisiones muy difíciles (pueden estar en juego vidas humanas) sometidas a gran presión temporal [Gwy98].

Para ello se elaboró una aplicación de interfaz simple e intuitivo, que mostraba la información relevante al grado de resolución elegido por el usuario y que, en caso de detectarse algún valor peligroso en los datos biomédicos de los operativos, mostraba la conveniente alarma o bien aviso en caso de valor anómalo.

La aplicación muestra la posición GPS sobre la cartografía del teatro de operaciones, de todas las brigadas de un batallón (solución civil aplicada a operativos del cuerpo de bomberos), dentro de una ventana espacial que las acomoda. El usuario puede hacer clic sobre una de las brigadas lo que le conduce a una pantalla donde se muestra la posición GPS de todos operativos de la brigada dentro de una ventana espacial de menor tamaño. En caso de hacer clic sobre un operativo, esto nos conduce a otra pantalla donde se ve el vídeo a través de la perspectiva subjetiva del operativo, sus constantes vitales y la posición GPS de los componentes de la brigada. Se cumple el objetivo de representar la información con grado de resolución espacial-jerárquico configurable por el usuario.



Figura 39: Distintos niveles de la aplicación desarrollada

4.4.1.2 Componentes de la arquitectura propuesta

4.4.1.2.1 Sistemas embebidos utilizados

Los sistemas embebidos son sistemas de cómputo hardware y software de propósito específico, totalmente contenidos por el dispositivo que gestionan. En comparación con los sistemas computacionales de propósito general, un sistema embebido tiene requerimientos muy concretos y ejecuta tareas predefinidas. Además, suelen llevar asociados unos requerimientos estrictos de tamaño, condiciones ambientales, consumo energético y limitaciones en cuanto a capacidad de cómputo y almacenamiento. Finalmente, cabe destacar que suelen utilizarse con aplicaciones que interactúan con el entorno, por lo que suelen llevar aparejados requerimientos de tiempo real y en muchas ocasiones regulan maquinaria y operaciones potencialmente peligrosas, por lo que también suelen llevar asociados requerimientos de fiabilidad estrictos.

Como se señala en [Crn05] el 96% de los sistemas operativos que se ejecutan hoy en día son sistemas operativos embebidos. Piénsese en la gran cantidad de μ controladores, sistemas de telecomunicaciones empotrados, teléfonos móviles y automatismos con sistema operativo que existen hoy en día.

Se requería un dispositivo de cómputo en los operativos que fuera capaz de gestionar los flujos sensorizados y las comunicaciones. Éste debía tener los siguientes requisitos: suficiente potencia de cómputo para codificar el vídeo en tiempo real, robustez para soportar un entorno hostil y rango de temperaturas extendido.

Para actuar como dispositivo de cómputo de los operativos se pueden utilizar PDA, teléfonos móviles y PC embebidos. Las PDA tienen una menor potencia de cómputo respecto a los PCs embebidos, mucha menor modularidad y extensibilidad hardware y consumen mucho por tener pantalla, funcionalidad que no va a ser utilizada en esta aproximación. Además, resulta más difícil encontrar en el mercado PDAs con rangos industriales de temperaturas y humedad que SBC. Los teléfonos quedaron descartados por varios motivos: todavía tienen escasa potencia de cómputo, no existen prácticamente kits y herramientas de desarrollo, son difíciles de programar (incluso en S.Os como Symbian), tienen una nula modularidad hardware y existen escasos productos con rangos extendidos. Debido a todo esto se utilizan PC embebidos. En cualquier caso en el punto 3.2.2 se detallará una arquitectura posteriormente desarrollada y basada en PDA, para permitir a los operativos el poder tener cierto grado decidor en el acceso a la COP y no sólo ser meros sensores/actuadores.

Un elemento a destacar respecto a las PDA y teléfonos móviles es la posibilidad de aprovecharse de todo el desarrollo llevado a cabo por las grandes compañías en temas como las baterías (duración, tamaño y peso) y la integración de componentes.

Existen gran número de plataformas y estándares hardware para PC embebidos. Atendiendo a los form-factors (que es lo que determina la familia) tenemos que los de uso más extendido son:

Familia	Área	Dimensiones	Arquitecturas soportadas
EBX	46	5.75" × 8"	x86, PPC y otras
Half-Biscuit	22.8	5.7" × 4"	x86
EnCore	22.3	3.9" × 5.7"	x86, MIPS, PPC
PrPMC	17.4	2.9" × 6"	x86 y otras
ETX	16.3	3.7" × 4.4"	x86
PC/104	13.7	3.6" × 3.8"	x86, PPC y otras
DimmPCI	7.9	5.25" × 1.5"	DragonBall
mini-ITX	44.89	6.7" x 6.7"	x86, ARM

Tabla 1: Comparativa de form-factors en PCs embebidos

Adicionalmente, existen toda una serie de form factors propietarios y muy específicos para aplicaciones muy concretas como los fabricados por Acunia, ADS, Compulab, JumpTec y que corren procesadores como el Xscale, StrongARM SA-1110, DragonBall o el PowerPC MPC850. Son de menor tamaño y están destinados a equipos con menor potencia de procesamiento, para aplicaciones de sensorización (con la excepción de los que usan PowerPC).

En esta solución desembarcada se optó por utilizar un SBC PC104+ debido a que es el estándar más extendido, es uno de los form-factors de menor tamaño y en dicha familia encontramos procesadores que representan un compromiso entre potencia de cómputo (sobre todo para codificación software del vídeo) y consumo energético.

La arquitectura hardware sobre la que se trabaja es x86 por la gran cantidad de software existente para la misma. La arquitectura ARM se baraja como una posibilidad por su bastante menor consumo para un rendimiento ligeramente inferior, pero plantea problemas de desarrollo de software, incluso en un entorno de software libre, al ser una arquitectura de procesador en general menos soportada y con una menor comunidad de desarrolladores. En cualquier caso, en una versión muy específica de esta arquitectura se barajó la utilización de arquitectura MIPS, también con un menor consumo respecto a x86, y la migración se llevó a cabo prácticamente sin problemas, salvo en el caso de los drivers.

Obviamente los discos utilizados no son mecánicos sino de estado sólido. Esto es debido a la mayor fiabilidad de los segundos respecto a los primeros en entornos agresivos, al mayor consumo energético de los primeros por usar motor y a su menor fiabilidad ante movimientos y golpes.

En la siguiente tabla se pueden ver las características del SBC utilizado y en la figura posterior el aspecto del prototipo desarrollado, dentro de su carcasa e incluyendo cámara:

- Cumple con el estándar Pc104+
- Procesador ULV BGA Intel Celeron @400Mhz, 256 KB Caché de nivel 2, 100Mhz PSB
- Chipset Intel 815E
- 128 MB de SDRAM
- Rango de temperaturas de -40 a 80 C.
- Interfaces para:
- IDE, Puerto paralelo, 4 USB, Ethernet y buses PCI (PC104+) e ISA(PC104)
- Alimentado a 5V y con un consumo de 8W (7 μ A sin módulos añadidos)

Tabla 2: Características del SBC utilizado



Figura 40: Solución SBC con cámara

Respecto a la parte del sistema operativo a utilizar, hay que destacar que existen gran número de distribuciones y productos llave en mano para sistemas operativos embebidos. Por ejemplo, cabe destacar dentro de las soluciones comerciales WindowsCE [WCE] y múltiples variantes embebidas y/o de tiempo real de Windows procedentes de terceros como [WCE1] [WCE2], LynxOs[LYN] y QNX[Hil92], estos últimos, además, sistemas de tiempo real. Por otra parte, cabe destacar muchas distribuciones completas de software libre ya orientadas al segmento embebido como las que aporta Red Hat [RHT] o Green Hill [GHS]. Sin embargo, para el presente trabajo se optó por desarrollar la distribución desde cero para poder tener un control absoluto sobre sus componentes y no depender de ningún fabricante. Dicha distribución es un SO Linux pero configurado, ajustado y minimizado para el contexto de aplicación particular de este sistema.

Se debía minimizar el footprint en disco pues el tamaño del mismo era de 64Mbytes y a la vez se necesitaba eliminar puntos de fallo en operación del sistema por lo que se utilizaron exclusivamente los módulos software que se precisaban. Así el kernel se ha configurado para soportar lo estrictamente necesario, con los módulos justos para los dispositivos que va a soportar el SBC.

El sistema de ficheros está completamente minimizado, con sólo los binarios y scripts imprescindibles para arrancar el sistema, cargar los drivers de los dispositivos que se utilizan y poner en marcha las aplicaciones y demonios que los gestionan. Además, la mayoría de binarios implicados se han compilado estáticamente y contra una libe [LIB] minimizada y

específica de sistemas embebidos, dietlibc [DIE]. Como es natural en un sistema embebido, el sistema arranca sólo (en 20 segundos está enviando la información sensorizada) sin necesitar ningún tipo de interacción con el usuario y sin necesitar y/o utilizar pantalla, teclado o ratón. Tan sólo se ha dejado, para la fase de pruebas, un pequeño servidor de secure shell o SSH [SSH06] para poder acceder al sistema en caso de fallo o de necesitarse modificar algún parámetro.

Por otra parte, las aplicaciones básicas del sistema han sido compiladas manualmente para crear una distribución propia de binarios básicos. Esto ha planteado bastantes dificultades y se está considerando la posibilidad de aprovechar alguno de los proyectos de distribuciones de aplicaciones básicas existentes. Dentro de las distribuciones de tools mínimas, cabe destacar: Linuxfromscratch.org [SCR], busybox [BUS1] probablemente la más popular y completa, Openembedded [OPE1] y embutils [FEF] desarrolladas por el mismo autor de la dietlibc. Se está planteando la posibilidad de utilizar busybox, por el hecho de ser un código muy estable y confiable, ahorrándonos el esfuerzo de compilar las utilidades básicas. Es de destacar que esta solución viene en gran número de sistemas empotrados comerciales, como hardware de red o cámaras IP.

En la siguiente tabla se puede ver una comparación del footprint de tres distribuciones de Sistema Operativo que se han realizado (SO-UPV) incluyendo kernel, drivers y ficheros asociados más aplicaciones básicas de todo sistema Linux (cat, mount, etc.) y aplicaciones de nuestro proyecto (servidor de streaming, servidor de GPS, ecg, scripts):

Tamaños para SO-UPV con todos los drivers y servidor de video, GPS y ECG	
SO-UPV sin ninguna minimización	36874240 bytes
SO-UPV recortado pero sin compilación estática(*)	20591680 bytes
SO-UPV recortado y con compilación estática y dietlibc	8171520 bytes

Tabla 3: Footprint para distintas soluciones de SO

4.3.1.2.2 Sensores

4.3.1.2.2.1 Biosensores: Electrocardiograma y temperatura

El electrocardiograma es una representación de la actividad del corazón basada en la medida de los pequeños cambios de potencial eléctrico en la superficie de la piel debidos a la contracción / relajación de aquel. Se suele aplicar sobre el sujeto a medir una configuración de cuatro electrodos denominada configuración de Einthoven, ubicándolos en las cuatro extremidades o en los puntos correspondientes del tórax. Con esta configuración se obtiene un patrón recurrente en el tiempo de forma de ondas: forma P (que representa el impulso cuando atraviesa el par aurículos/ventrículos), forma QRS (que representa el impulso cuando atraviesa los ventrículos) y forma T (que representa la repolarización de los ventrículos). Con esta información se pueden obtener parámetros médicos como las

pulsaciones por minuto y, atendiendo a las peculiaridades de cada onda, estimar la presencia de arritmias, isquemias, taquicardia, contracciones ventriculares prematuras, etcétera.

Como sensor de ECG tenemos un dispositivo desarrollado por el ITUV-Karlsruhe [ITU] que es un dispositivo ECG de tres vías y además contiene un pequeño sensor de temperatura. Se basa en un microcontrolador Atmel ATMega128L y envía las señales biomédicas sensorizadas mediante Bluetooth. El dispositivo tiene una autonomía en baterías de 12 horas de funcionamiento y adquiere 300 muestras de 16 bits por segundo.

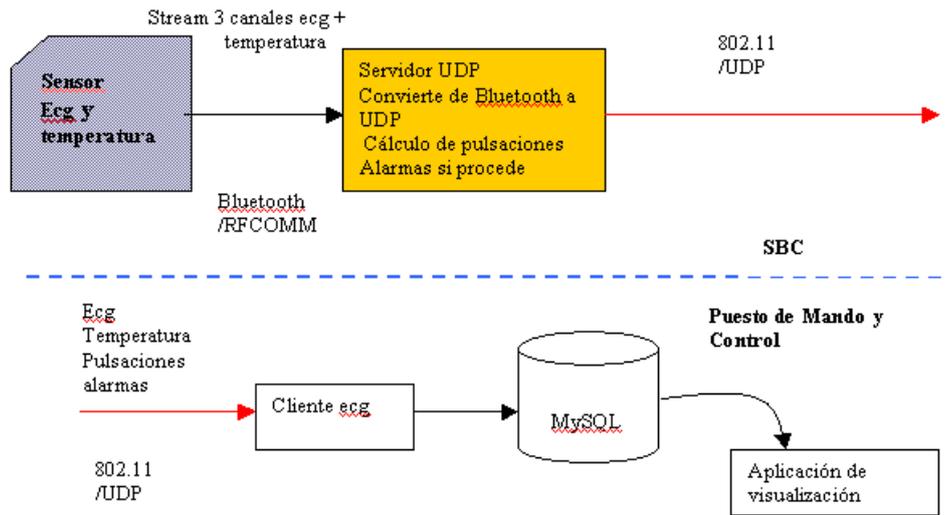


Figura 41: Esquema del funcionamiento software del ECG

El sistema actual debe refinarse ya que es bastante intrusivo para el individuo debido a utilizar electrodos, buscándose soluciones tipo chaleco o camiseta con los sensores incorporados. El problema es que estos dispositivos son más difíciles de encontrar, debido a que sufren en mayor medida, si cabe, el problema del ‘motion artefact’ [Ott04] solventado en el dispositivo actualmente en uso.

4.3.1.2.2.2 GPS

El sistema dispone de un receptor GPS por unidad individual, ubicado en la PAN y que se comunica por Bluetooth con el SBC. Dentro del mismo hay un software que procesa el stream NMEA que genera el GPS y lo envía, convenientemente formateado, al puesto de mando de escalón más próximo, para que lo difunda por la red a otros puestos de mando.

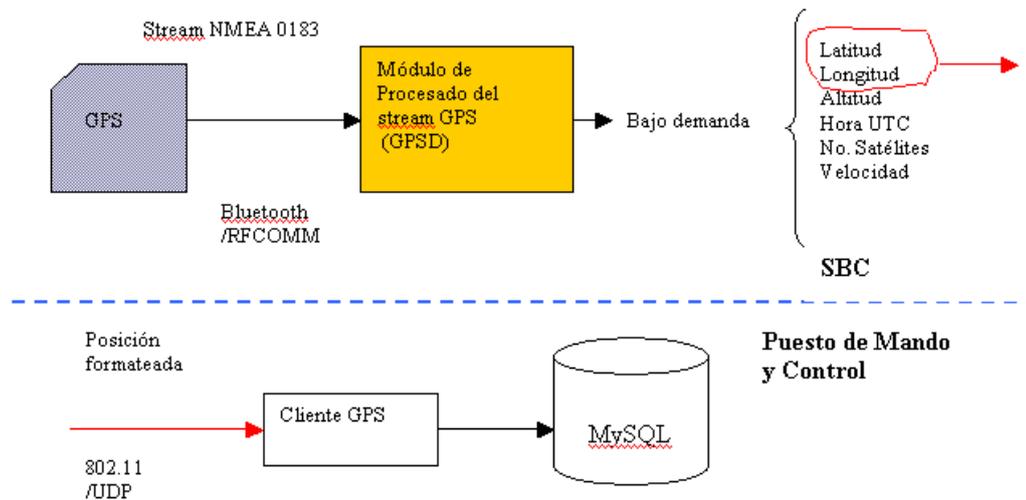


Figura 42: Esquema de funcionamiento del software de GPS

4.3.1.2.2.3 Sensores de vídeo

Basándonos en anteriores trabajos de video sobre IP llevados a cabo en el grupo de investigación[Pal05], se decidió la utilización del software libre desarrollado bajo el proyecto videolan (vlc, vls) [VLA] respecto a otras alternativas también muy usadas en la comunidad de software libre como Xine[XIN], Ogle[OGL] o Mplayer [MPL] por el mayor know-how que se tenía respecto a esta solución.

Además es una solución mucho más completa que el resto pues lleva varios años con un activo y considerable grupo de desarrollo programándolo y depurándolo y una amplia comunidad probándolo e implementándolo en múltiples proyectos. Videolan tiene un gran número de funcionalidades, es muy modular y es probablemente la solución más potente y eficiente de entre las disponibles. Finalmente, se tenía un amplio conocimiento dentro del grupo de investigación acerca del funcionamiento del código y la implementación de la solución en aplicaciones.

Videolan se compone de un cliente (vlc) y un servidor (vls:que ya no se sigue desarrollando ni tiene soporte desde hace años). El primero puede actuar también como servidor y el segundo, aunque ha sido abandonado su desarrollo, es mucho más robusto, eficiente y estable que el cliente. Éste último tiene muchísimas más funcionalidades. Videolan tiene códecs para mpeg1, mpeg2, mpeg4, divx1/2/3, h264, theora, WMV e Indeo Video v3.

Además soporta UDP tanto en unicast como en multicast y RTP. Dispone de gran número de módulos: para transcodificación, para distintos interfaces gráficos, para un servidor HTTP, para CORBA, para ActiveX, DVB, DVD, etcétera.

Otra ventaja de videolan es que dispone de un plug-in para mozilla de forma que es fácilmente integrable con aplicaciones web que se desarrollen, como es el caso de este trabajo.

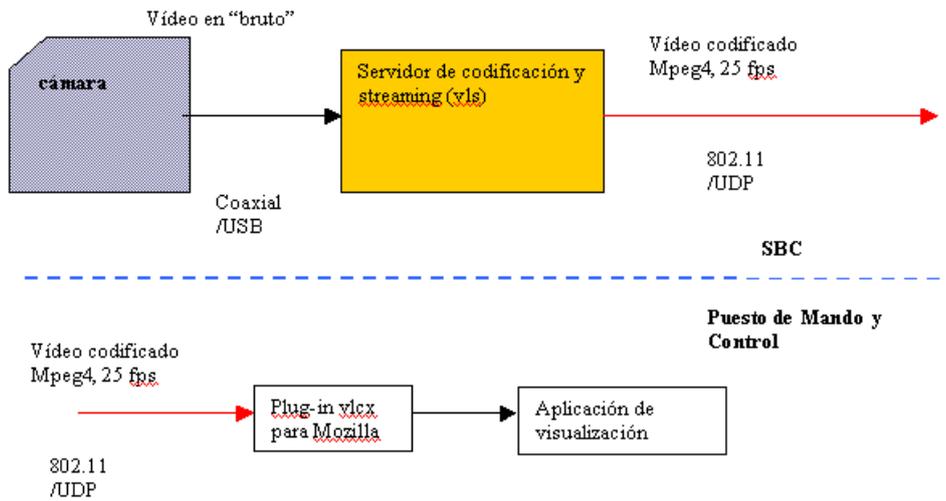


Figura 43: Esquema de funcionamiento del software de vídeo

4.3.1.2.3 Sistema de Información Geográfica (SIG)

De entre las múltiples soluciones existentes se eligió la utilización del motor de cartografía Mapserver de naturaleza OSS. Dicha solución es una de las más extendidas en dicho ámbito y llega a competir con soluciones comerciales de primera línea como las de la empresa ESRI, líder mundial y referente en motores de cartografía. Se eligió desarrollar la aplicación de cartografía en PHP utilizando el API de Mapserver/Mapscript. El control de la cartografía se lleva a cabo con una configuración inicial estática y luego mediante modificaciones dinámicas en función de los requerimientos del usuario. La aplicación de GIS viene integrada en la aplicación de mando y control global y permite el ajuste, bajo demanda, del nivel de detalle de la representación. Así el usuario puede ver la posición y actividad de varias brigadas, de los miembros de una misma brigada o el vídeo y ECG de un operativo conjuntamente con la posición de su brigada. En todo momento la ocurrencia de una alarma se visualiza en pantalla.

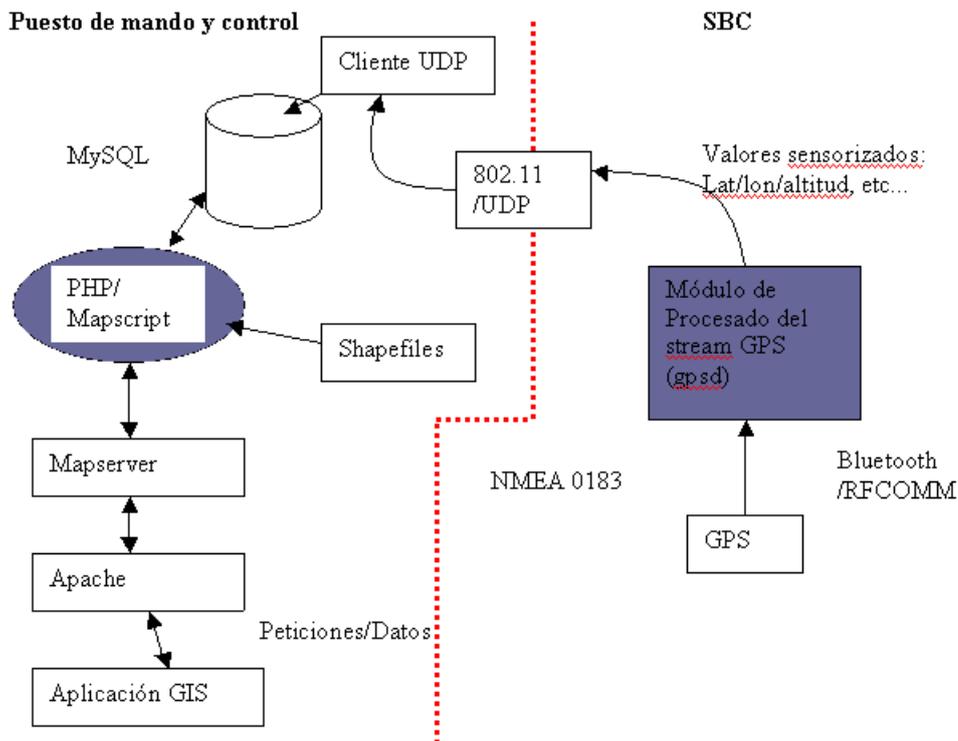


Figura 44: Esquema del funcionamiento de la aplicación cartográfica

4.3.1.3 Replicación de la información.

Esta solución implementa también la red táctica comunicando diversos puestos de mando y control entre sí de forma que compartan la misma información y por lo tanto la misma visión del teatro de operaciones. Para llevar a cabo dicha replicación se utilizó un servicio existente en los servidores MySQL que permite la réplica de la información de determinadas tablas y bases de datos entre servidores ubicados en distintas máquinas con determinadas modificaciones (gracias a ser una solución OSS) para adaptarlo a las necesidades particulares del escenario descrito. La topología utilizada entre servidores de bases de datos fue un anillo con redundancia. Por otra parte se desarrolló una arquitectura ad-hoc de réplica de los flujos de vídeo entre puestos de mando de forma que en todo momento se pudiera visualizar un vídeo particular en cualquier puesto de mando. De esta forma se consigue implementar la red táctica permitiendo el intercambio entre todos los puestos de mando y poder probar los conceptos de la autosincronización y la distribución jerárquica de la información entre los mismos.

Esto se puede ver en las siguientes figuras que muestran los modos jerárquico y auto-sincronizado de replicación de la información. En cualquier caso se ahondará con detalle sobre este punto en el capítulo de validación.

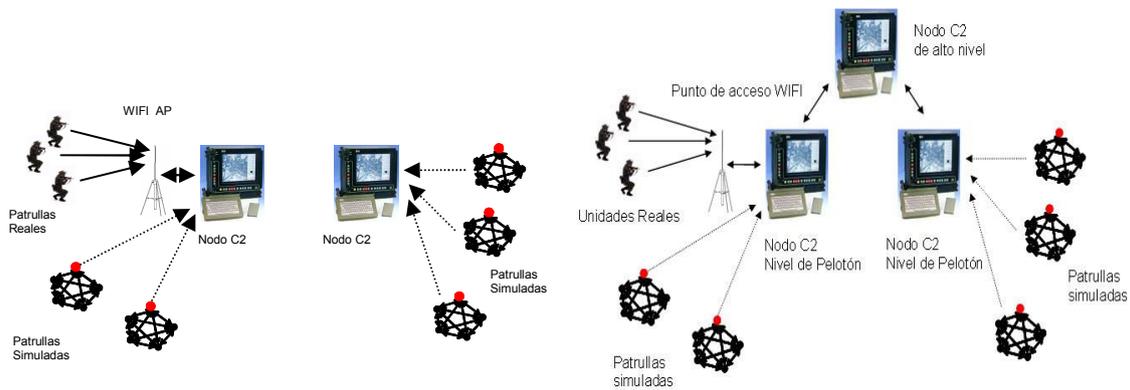


Figura 45: Modos de funcionamiento autosincronizado (izquierda) y jerárquico (derecha)

4.4.2 Implementación basada en radios personales MESH.

El sistema desembarcado ha sido extendido para poder soportar una arquitectura de red mallada o mesh. Este sistema de mando y control tenía una configuración lógica y software muy similar a la arquitectura presentada en el punto anterior pero utilizando redes con topología mallada. Si bien el software era el mismo, en vez de utilizarse SBC se utilizaron radios personales Spearnet de la empresa ITT, no sólo como medio de comunicación sino como dispositivo computacional, bien es cierto que en los primeros prototipos se utilizó la solución SBC sustituyendo el hardware de red por las tarjetas PCMCIA que implementan el interfaz de red mesh.

Así, el software desarrollado en la arquitectura reseñada en el punto anterior y que en la misma se ejecutaba en los SBC, se empotró en dichas radios que poseen un procesador ARM PAX 270 y el servidor de GPS, la gestión del streaming de video (pues la codificación, en esta ocasión, se llevó a cabo en cámaras IP de la empresa Axis), la codificación de voz y la gestión de todos estos flujos se ejecutaron en una máquina Linux dentro de esas radios. El sistema operativo que se instaló en las radios fue un kernel 2.6.11 con una distribución desarrollada a partir de busybox[BUS1]. Las radios operaban en la frecuencia militar de 1.2 Ghz con muchas mejores prestaciones que la versión civil de las mismas que opera al doble de frecuencia. En este caso la funcionalidad extra consistía en la capacidad de comunicación vocal entre nodos que únicamente se había contemplado de manera experimental. Se acabó desarrollando un codificador/decodificador de audio así como unos mecanismos de gestión para poder intercomunicar unos nodos con otros aunque finalmente la solución de audio que se implementó fue la que ya tenía desarrollada la empresa fabricante de las radios.

En la siguiente figura se puede observar el esquema de red que se implementó:

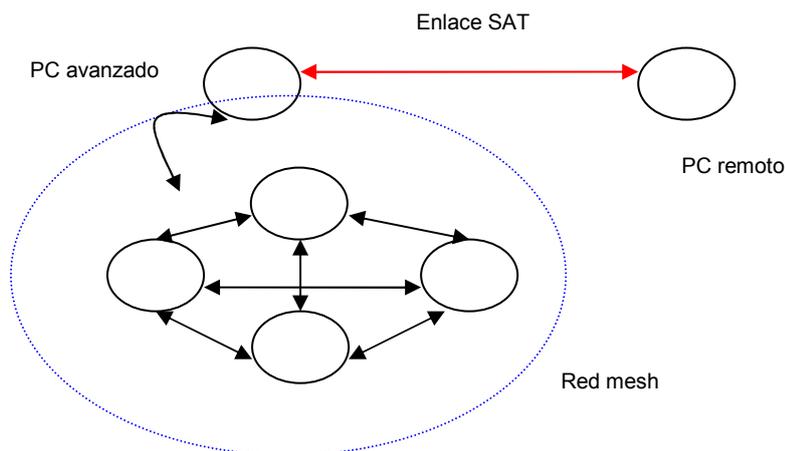


Figura 46: Esquema de red con red mallada

La figura muestra la configuración típica utilizada en el sistema desarrollado. Un puesto de mando retrasado conectado mediante medios satélite o bien mediante 802.11 o bien WiMAX con antenas parabólicas muy directivas de 26 dBi a un puesto de mando avanzado.

Dependiendo del mismo N unidades individuales desembarcadas y equipadas con un sistema SIMACOP e interfaz de red mesh implementando una topología todos con todos. El esquema implementa los tres primeros escalones de la arquitectura propuesta en el presente trabajo, la red PAN, la red de campo/combate y la red táctica. Aquí la gran diferencia es la utilización de redes malladas ‘completas’ en la red de campo/combate.

En esta configuración se pudo estudiar con mayor profundidad las capacidades de red mallada que en la arquitectura del punto anterior, debido a las limitaciones de implementación de la capacidad ad-hoc para 802.11 que existían en el driver para los chipset Atheros en el momento de llevar a cabo dicho prototipo. Además, estas radios poseen toda una serie de funcionalidades extra que no se pueden encontrar en medios que implementen 802.11 en modo ad-hoc, 802.11s o tecnologías mesh estándar. En concreto, un interfaz radio, sin estar conectado a una computadora, ya sea un PC, un SBC o el equipo embebido que llevan las radios, simplemente con ser alimentada eléctricamente empieza a enviar paquetes por el medio radio para descubrir qué otros nodos con el mismo interfaz están próximos, establece tablas de rutas a los mismos y monta toda una infraestructura de red, mediante el envío de paquetes propietarios en capa 2 ISO/OSI. Esto permite liberar a las capas superiores de dichas responsabilidades y resulta extremadamente eficiente en el descubrimiento de la red y ágil en la reconfiguración.

Otras dos ventajas asociadas a lo descrito de esta tecnología de radio son la capacidad de actuar como relay de las radios y la subsiguiente extensión lineal del rango de comunicaciones y la ganancia en robustez al proporcionar multicamino. La funcionalidad de relay es muy útil en general pero muy particularmente para operaciones tácticas muy concretas como pueden ser las llevadas a cabo por cuerpos de bomberos o las propias de enfrentamientos en entornos urbanos. En muchas de las operaciones de ambos casos el despliegue de los operativos se lleva a cabo sobre una línea recta por ejemplo en subterráneos, calles estrechas, etc. donde además cada intersección puede suponer serios obstáculos para la propagación radio. Esta funcionalidad permite que la unidad más avanzada sólo precise conectividad radio con otra próxima que retransmitirá todas sus comunicaciones con el resto de unidades en la malla y hacia el mundo exterior.

Esta arquitectura fue probada en Mayo de 2007 en el cuartel general de la Unidad Militar de Emergencias (UME) en una demostración conjunta con la empresa ITT. El mismo prototipo, pero utilizando tecnología mesh mediante tarjetas civiles del fabricante Motorola en banda de 2.4 Ghz y SBC, es decir sin empotrar el software en las radios, fue el empleado en las pruebas de CWID08 nacional con la guardia civil. Estos puntos quedan reflejados en el capítulo de validación.

4.4.3 Implementación basada en PDA

El sistema ha sido migrado a una PDA en sustitución del SBC. Esto plantea, como siempre, una serie de ventajas e inconvenientes. Por un lado se pierde la funcionalidad de codificación de los flujos de vídeo, que se sustituye por una codificación en la propia cámara, y se reduce el grado de control sobre el software que se ejecuta en la PDA al ser el sistema operativo Windows CE o Windows Mobile 2005. Por el contrario se gana la posibilidad de que el operativo que lleva la PDA no sólo sea sensor sino que también pueda recibir cierto grado de COP representado en una aplicación adaptada que se esté ejecutando en la PDA. Dicha aplicación es, lógicamente, una versión reducida de SIMACOP por cliente web que obtiene la mayor parte de la información a representar del puesto de mando inmediatamente superior en la jerarquía ubicado en vehículo.

Otra ventaja destacable es el hecho de utilizar toda la investigación y desarrollo en temas de baterías y consumo energético así como integración de componentes llevada a cabo por los fabricantes de PDA.

Esta aproximación permite extender las funcionalidades de mando y control más allá del vehículo de mando de forma que la denominación de desembarcado cobra pleno sentido. La integración en la solución de seguimiento de fuerzas propias vehicular que se verá en puntos posteriores es inmediata.

La PDA tiene integrado un receptor de GPS e interfaces para 802.11g, Bluetooth, RS-232, ethernet y USB. De esta forma cada nodo individual con PDA captura su posición GPS que inyecta en el sistema global de seguimiento de fuerzas propias, permite la visualización de la COP, el envío de mensajes y alarmas (elementos existentes en la versión vehicular que se explicará en puntos posteriores) y, eventualmente, el envío de vídeo en tiempo real con el uso de cámaras asociadas a cada unidad individual. En la siguiente figura se puede observar la integración del elemento desembarcado con PDA.

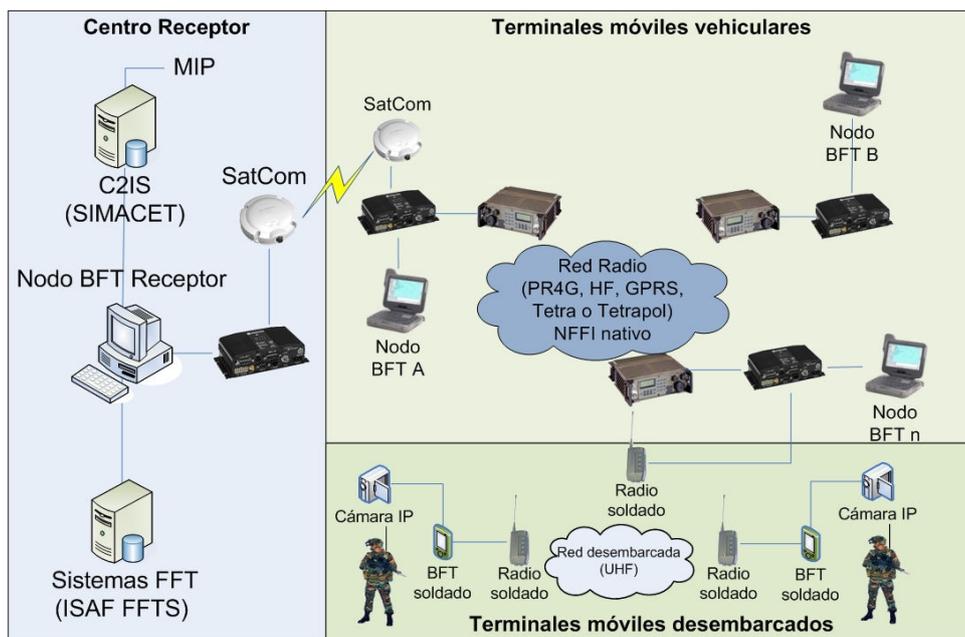


Figura 47: Arquitectura del sistema con PDA desembarcadas

Esta arquitectura es la que se ha llevado a cabo en una nueva versión del sistema de mando y control para el seguimiento de fuerzas propias y que se detalla posteriormente en el punto 4.5. En dicha arquitectura han desaparecido los elementos embebidos y se ha primado más la parte de sistemas de mando y control embarcados interconectados por redes tácticas. Para el desembarcado, utilizando redes de UHF se ha utilizado PDA como elemento de recopilación de la información y visión de la COP.

Las características del hardware utilizado son las siguientes:

CPU Intel Xscale PXA270 @624 MHz
Sistema Operativo Microsoft Windows CE.NET 5.0 or Windows Mobile 2005
128 MB RAM - 128 MB Flash ROM (NAND)
4" VGA (480 x 640) TFT LCD, legible fácilmente bajo incidencia directa del sol
Tarjeta gráfica Nvidia 4800
Salidas externas para USB 2.0, USB 1.1 (mini), Serie (DB9 Rs232) , SDIO, PCMCIA tipo II
Baterías de Ion-Litio 3.6V de 3900 mAH.
Touch Screen
Cumplimiento de estándares militares de temperaturas, golpes, vibraciones, etc.

Tabla 4: Características del hardware utilizado (PDA)

Estas características limitan bastante determinadas funcionalidades a incluir en la PDA. La codificación de vídeo se descarta directamente por la escasa CPU disponible mientras que el limitado espacio en disco introduce restricciones en cuanto a aplicaciones y servidores a utilizar así como almacenamiento en bases de datos. Es por ello que se optó por una solución de cliente web con muy poco impacto sobre el hardware y cuya evolución, que se detalla a continuación, también se decanta por aproximaciones muy ligeras, tanto en CPU como en disco.



Figura 48: Aplicación SIMACOP en funcionamiento en PDA

Esta aproximación ha sido probada con éxito en las Escuelas Prácticas CIS (EPCIS) de septiembre de 2008. Es de destacar que esta versión está en desarrollo y fase de prototipo operativo y que se espera tener una versión estable para el último cuarto de 2009 donde la aplicación no sea un cliente del puesto de mando vehicular más próximo sino que pueda utilizar independientemente. Para ello se está desarrollando una solución completa e independiente que se ejecuta en la propia PDA, basada en motores GIS de ESRI para Windows CE/Mobile 2005, motores de SIGMIL y bases de datos también ajustadas a la PDA. El entorno de desarrollo es .NET framework 3.5 con lenguaje de programación C#.

4.5 Sistema de seguimiento de fuerzas propias

4.5.1 Arquitectura y descripción general

Este sistema es el que actualmente está en uso por parte del Ejército de Tierra. El sistema reemplaza al desarrollado con SBC pues, partiendo de éste, ha eliminado toda la parte de sistemas embebidos para migrar hacia una solución de mando y control de pequeña unidad para el seguimiento de fuerzas propias centrada en vehículos y, por lo tanto, con mayor capacidad de procesamiento y almacenamiento. Para ello se le ha dado un mayor peso a toda la parte de funcionalidades de seguimiento de fuerzas propias o FFT, a las características de la aplicación y su usabilidad, a los aspectos de interoperabilidad y al soporte de comunicaciones para un gran número de medios radio tácticos.

El sistema partió del existente anteriormente descrito en el punto previo 3.3 y tomando los requisitos de diseño y funcionamiento de los usuarios finales (Ejército de Tierra) incorporó las funcionalidades que se demandaban en cuanto a sistema embarcado para el seguimiento de fuerzas propias en los escenarios operativos que necesitaba el usuario final. Estos requisitos condujeron a las modificaciones señaladas en el párrafo anterior respecto a la solución embarcada. Es de destacar que la solución previamente descrita en el punto 3.3 se integra fácilmente en la arquitectura que se describe en este punto. En concreto el sistema desembarcado, particularmente la solución con PDA, abarcaría las redes PAN y de campo mientras que el sistema de seguimiento de fuerzas propias implementaría la red táctica y la operacional. La red operacional de coordinación. Se establecería mediante la conexión con la red de mando del Ejército de Tierra, SIMACET.

El sistema se ha desarrollado como un conjunto de sistemas de mando y control, cada uno embarcado en un vehículo de un determinado nivel jerárquico que comparten la información, en función de una serie de filtros para permitir ver a cada uno lo que tiene que ver, de lo que ocurre en el teatro de operaciones. Dichos sistemas, pues, constituyen los distintos nodos de la red táctica, tal y como se describe ésta en la arquitectura global. De esta forma, en función de la orgánica establecida en la operación, se despliegan una serie de vehículos (jefe de batallón, jefe de cada una de las compañías, jefe de cada una de las secciones, jefe de pelotón) en los que, en un computador militarizado se ejecuta el seguimiento de fuerzas propias. El computador obtiene información del teatro de operaciones a través de sus sensores y comparte dicha información con el resto de sistemas para que todos tengan una misma COP. De esta forma se mejora la conciencia situacional y se fomenta la conciencia situacional compartida redundando en una mayor eficiencia en el cumplimiento de una misión.

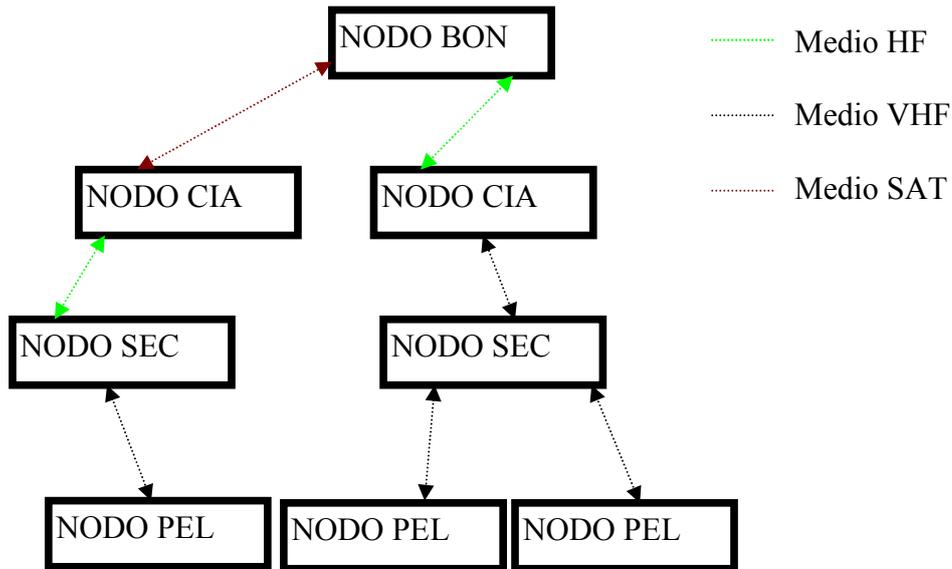


Figura 49: Arquitectura orgánica e inter-nodo del sistema (Ejemplo)

En la arquitectura del sistema vehicular se decidió, para resolver los problemas de investigación planteados y en la línea de del trabajo previo, que presentase una serie de funcionalidades:

- Independencia del medio de transmisión utilizado y conmutación transparente entre medios como resultado de la integración de tecnologías de red heterogéneas, como se vio en la descripción de la arquitectura global. Para ello el sistema se ha desarrollado con drivers para la mayor parte de tecnologías de comunicaciones existentes en el ámbito táctico, tanto militar como civil, y toda una serie de servicios que desacoplan las capas superiores de las características de la red subyacente para posibilitar esa transparencia de medios.
- Integración de cualquier tipo, incluyendo lógicamente, sensores de GPS. Dicha integración se ha llevado a cabo con el concepto de ‘sensor-on-the-network’ de forma que, no sólo se integra el sensor en la red, sino que, desde cualquier nodo de la misma se puede acceder a la información sensorizada:
 - Vídeo
 - Cámaras infrarrojas y de visión nocturna
 - Binoculares telemétricos para geolocalización automática de elementos contactados visualmente.
 - Sensores biométricos.
- El sistema facilita la toma de decisiones por una adecuada presentación de la COP pero también gracias a funcionalidades extra de elaboración de conocimiento, poda en el árbol de decisión cognitivo para la ayuda a la toma de decisiones: distintos tipos de filtrado (geográfico, por unidades), simplificación de la presentación de la información, automatización y simplificación de procesos al usuario

- Fiabilidad y tolerancia a fallos vía la reconfigurabilidad y robustez de la arquitectura global. En esta versión se han añadido gran número de mecanismos extra para la monitorización, detección de eventos problemáticos y la reubicación del sistema en un estado estable, tanto a nivel intra-nodo como a nivel inter-nodo.
- Utilización de tecnologías web y tecnologías publish-subscribe o orientadas a servicio con el objeto de desacoplar espacial y temporalmente productores y consumidores
- Integración con otros sistemas (de otras agencias) como se planteó en la arquitectura global. Esta integración es transparente y 'en caliente' en tiempo de ejecución de la operación por medio de aproximaciones de interoperabilidad. En concreto se han desarrollado soluciones de interoperabilidad vertical con SIMACET vía COE e interoperabilidad horizontal vía NFFI con sistemas FFT. Modelo de datos C2IEDM y MDC2ET 1.7 (adaptación del ejército español) así como compatible con MIP bloque II.
- Potenciación de la autosincronización y COP compartida mediante servicios de replicación de la información muy adaptados a entornos tácticos y medios radio muy adversos.

Por otra parte el sistema propuesto tiene una serie de funcionalidades extra respecto a los anteriormente descritos que le aportan una serie de ventajas de cara al mando y control:

- Capacidades de localización y seguimiento de fuerzas propias y amigas.
- Funcionalidades de mando y control desde el nivel de batallón hasta el desmontado.
- Inclusión de flujos de información especiales además de las posiciones de las unidades. En concreto:
 - Posibilidad de envío de alarmas en tiempo real a todos los nodos de la red.
 - Posibilidad de detección y envío de amenazas a todos los nodos, con mecanismos de validación de las mismas.
 - Utilización de mensajería breve en el formato de chat táctico.
 - Señalización de objetos de interés en el teatro de operaciones y diseminación de los mismos a toda la red.
- Generación de ORBAT
- Filtrado de información por unidades y geográfico.

El corazón principal de la aplicación y alrededor del cual se articula todo es el fichero de misión que refleja la orgánica así como la estructura de red de una manera flexible. En dicho fichero se encuentra toda la información imprescindible de una operación concreta como puede ser las unidades implicadas, sus características orgánicas, sus características de red, sensores, filtros, etc. Esta información se genera con una simple herramienta integrada en la aplicación SIMACOP, en el modo administrador y se salva en un fichero de texto que suele tener un tamaño entorno a los 40-50 Kbytes. Este fichero se distribuye a todas a las unidades implicadas para que lo instalen y compartan la estructura de la operación y puedan comunicarse entre ellas. Dicha estructura de información también puede ser modificada en el curso de una operación, siendo entonces diseminada por medios radios por un canal destinado a la señalización y el control. La existencia de un fichero de misión facilita la reconfiguración dinámica del sistema y la aplicación. El funcionamiento del sistema viene determinado por los valores de dicho FDM donde se registran todos los parámetros de aquel. Al ser modificados todos los nodos operan en consecuencia y se adaptan a los nuevos valores que determinan los modos de funcionamiento. Así, parámetros como:

- Direcciones IP y rutas
- Tiempos de refresco y actualización de servicios
- parámetros de filtrado
- estructura orgánica, ORBAT
- cartografía
- Sensores, tipología y parámetros de acceso
- Parámetros de base de datos

Se pueden modificar 'on-line' reconfigurando la estructura inter-nodo e intra-nodo del sistema.

En la siguiente figura se puede observar el aspecto general de la solución vehicular.

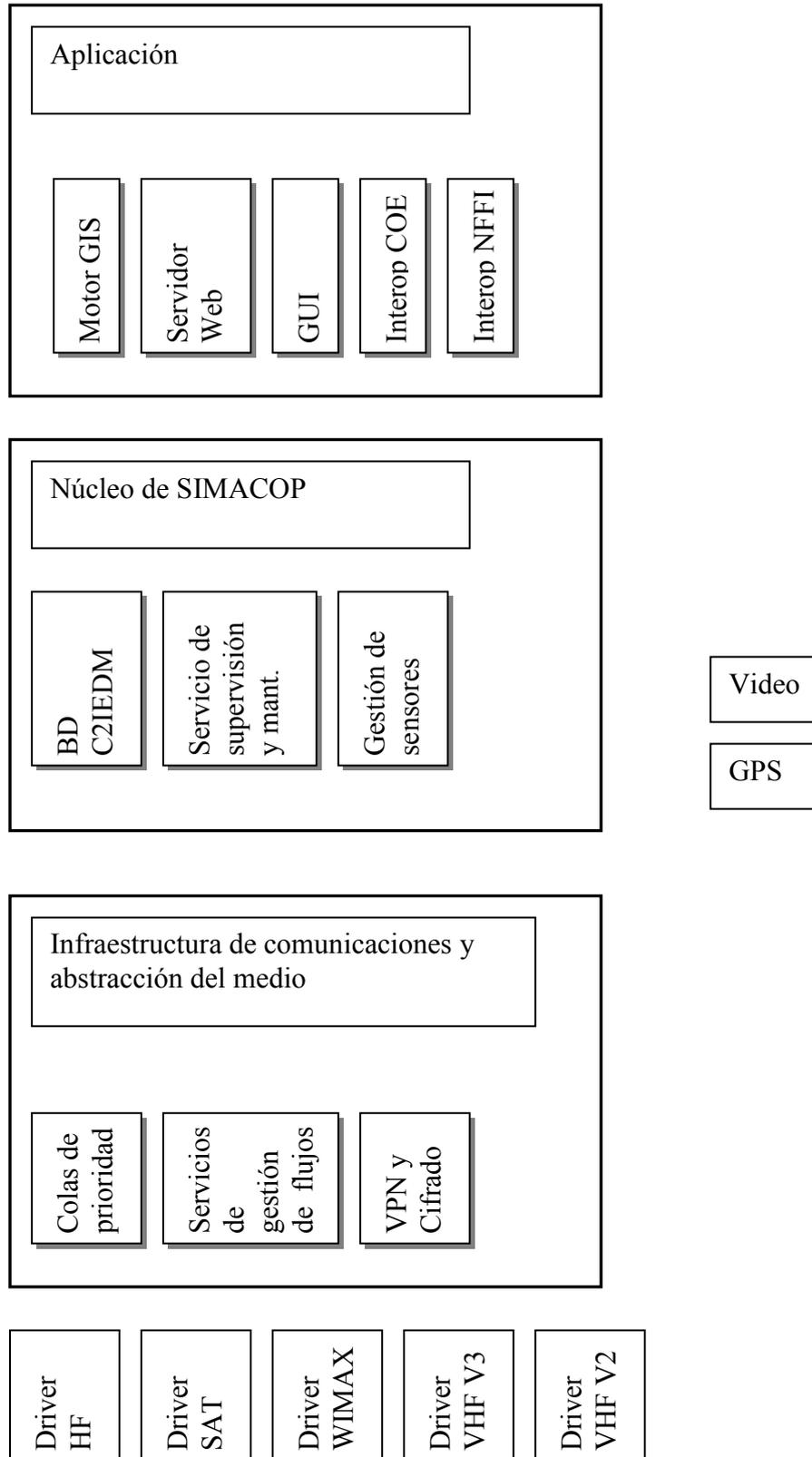


Figura 50: Arquitectura general de la solución vehicular

El sistema está dividido en cuatro niveles:

- Una capa de aplicación: en dicha capa se encuentra la aplicación propiamente dicha, el GUI y los servidores de GIS y el servidor web. Además se encuentran los módulos de interoperabilidad, tanto vertical con SIMACET mediante el módulo de comunicación con el Common Operational Environment (COE) como horizontal con otros sistemas NFFI.
- Un núcleo donde están los servicios básicos del sistema: dentro del mismo está una base de datos con el modelo OTAN C2IEDM y compatible con el modelo del ET español MDCET versión 1.7. También se encuentra una infraestructura que monitoriza el funcionamiento del sistema global y permite recuperar servicios ante caídas de los mismos. Por otra parte, en esta capa se encuentran radicados los módulos que interactúan con los sensores, ya sean éstos de vídeo, GPS (tanto los GPS empotrados en las distintas radios tácticas como GPS externos) así como la telemetría.
- Una infraestructura de comunicaciones: La misma aísla al sistema de la naturaleza y características de los distintos medios radio subyacentes por medio de la gestión adecuada de cada medio atendiendo a sus características y la priorización de los distintos tipos de flujos. Esto se ve apoyado por toda una serie de servicios que gestionan los flujos, tanto en recepción como en envío, mediante un algoritmo distribuido considerablemente ‘stateless’ y robusto ante caídas.
- Toda una serie de drivers para poder comunicarse con los distintos medios radio en uso tanto civil como militar.

En concreto el sistema soporta prácticamente todos los medios radio tácticos en uso hoy en día tanto en el ámbito militar como en el civil. Se dispone de drivers, capa de adaptación, servicio de réplica adaptado a dicho medio para los siguientes medios radio:

- Radio VHF PR4G V3 F@snet
- Radio VHF PR4G V2
- Radio HF Harris 5800
- Radio HF Thomson
- Medios Satélite
 - Inmarsat
 - Iridium
 - Thuraya
 - TLX-50 y TLX-5
 - SATCOM on de MOVE – Banda X
- WIMAX
- ITT Spearnnet Personal Radio

- TETRA y TETRAPOL

La aplicación que se ejecuta en cada una de las unidades representa en tiempo real las posiciones de cada una de las unidades implicadas sobre un GIS. La tasa de actualización de la información de las distintas unidades variará en función de la tecnología de red subyacente a cada uno de los enlaces.

El esquema de funcionamiento de la aplicación, a alto nivel, es que se puede observar en la siguiente figura:

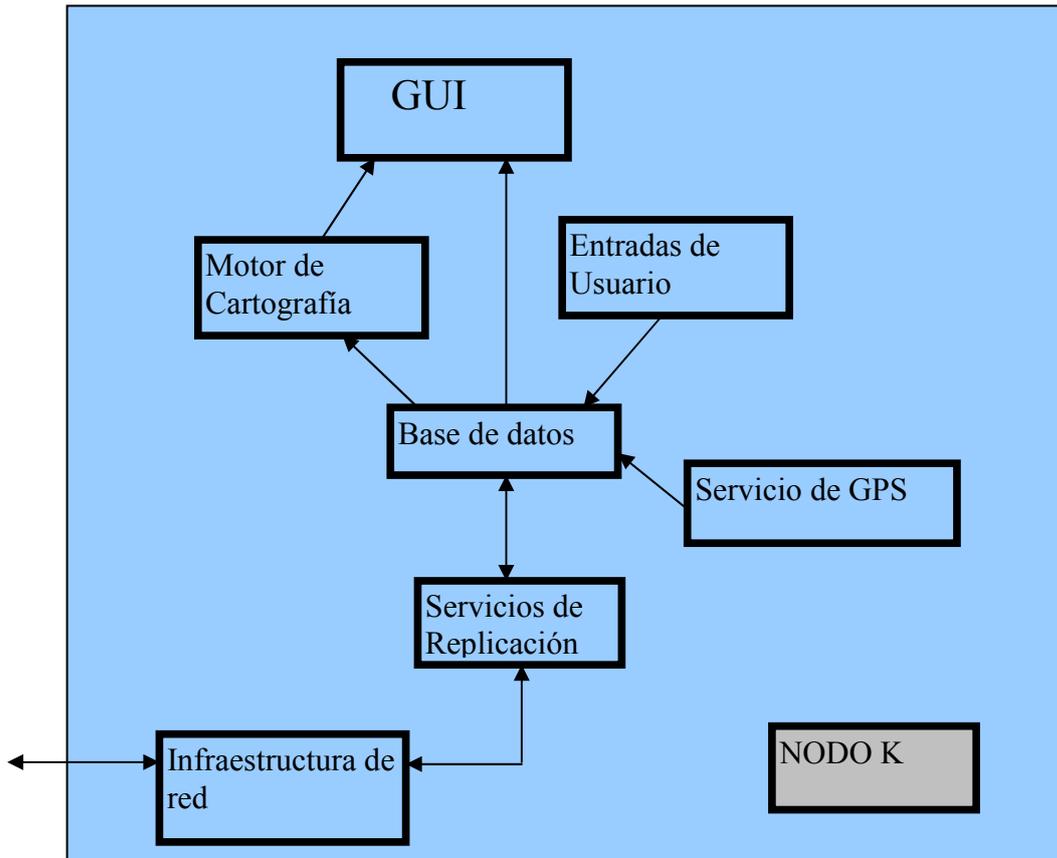


Figura 51: Arquitectura software intra-nodo.

Como se puede ver toda la información se almacena en una base de datos. Las fuentes de la misma pueden ser, datos recibidos de otras unidades a través de los servicios de replicación, datos recibidos del servicio de GPS o bien entradas producidas por el usuario, como la inserción de una alarma o de un mensaje de chat táctico. La información se replica hacia otras unidades por medio de los servicios de réplica. Con esa información se alimenta a un motor gráfico y a otro de cartografía que son los que construyen la visión del teatro de operaciones que se le muestra al usuario.

La arquitectura software intra-nodo varía significativamente respecto a la solución desembarcada, como se ha visto en párrafos anteriores, fundamentalmente por la parte de servicios de réplica. Sin embargo muchos elementos son iguales pero migrados a Windows

XP. Lo que demuestra la validez general de la arquitectura propuesta. Así, los servidores utilizados son los mismos que en la versión desembarcada Linux pero migrados. Así, tenemos como servidor de base de datos a MySQL, como servidor web a Apache, como motor de GIS a Mapserver, etcétera. Por otra parte, los servicios de adquisición de sensores recogen la información de las mismas fuentes que en soluciones anteriores, esto es GPS, vídeo, binoculares telemétricos y biosensores. En el caso del GPS este se adquiere fundamentalmente de tres fuentes: las radios de VHF y HF, tanto en local como en remoto, y GPS externos conectados por el puerto RS-232.

Los datos fundamentales del sistema, definidos por los usuarios son las alarmas, las posiciones, las amenazas, los objetos y la mensajería, en ese orden de prioridad de mayor a menor. Las características de priorización de los distintos flujos llevada a cabo por servicios específicos se verán en el punto de tiempo real. Los flujos de vídeo, como se explica en puntos posteriores, van por otro camino.

Aunque se ha probado satisfactoriamente en equipos de menores prestaciones el sistema funciona en un equipo tipo con las siguientes características:

CPU	Intel Core Duo U2400 a 1 Ghz
RAM	512MB
Disco duro	40GB
CD-ROM	Recomendado
Display	10.4" XGA (1024 x 768) Mínimo. Resoluciones superiores también soportadas.
Interfaces	Mínimos requeridos: 1 Ethernet, 1 RS-232, 1 USB, 1 PCMCIA. Para una funcionalidad de comunicaciones completa

Tabla 5: Requisitos hardware en Sistema de Seguimiento de Fuerzas Propias.

El sistema FFT/UPV funciona sobre WINDOWS XP Professional SP2 aunque también se puede utilizar en WINDOWS 2000.

El sistema precisa que esté instalada en el sistema el servidor web Apache Apache 1.3 o 2.0 para su ejecución, así como PHP 4.0 o 5.0. Además se necesita MySQL en su versión 5.0 (en versiones anteriores, en concreto 4.x, se ha probado satisfactoriamente) para su correcto funcionamiento. Además se precisa la extensión de PEAR para conector de base de datos Oracle OCI 10.

En el caso de que se precise utilizar los servicios del estándar NFFI (NATO Friendly Force Interface) para la comunicación de datos tácticos es preciso instalar el framework mínimo de .NET (versión 3.5).

El sistema FFT/UPV instala en el disco duro, previa consulta al administrador, el software de VPN OpenVPN. Este software se utiliza para establecer redes privadas virtuales con comunicaciones seguras (AES-256, por ejemplo) necesarias en el caso de utilizar satélites. En ese contexto de comunicaciones, la asignación de direcciones IP es muchas veces dinámica y no controlable por lo que la red virtual nos permite mantener la estructura necesaria. Por otra parte las comunicaciones no son seguras, como era el caso de los medios de VHF y HF por lo que se precisa el cifrado de la información.

4.5.2 Interfaz de usuario y aplicación

Como se ha destacado previamente, el objetivo que se persigue es poder representar la situación de las fuerzas propias en todo momento. Para ello se ha diseñado un interfaz de usuario extremadamente simple e intuitivo, donde toda acción está separada de otra, como máximo, por la distancia de dos clicks. Piénsese que el sistema va a ser utilizado en condiciones muy adversas, ya sea por operadores civiles o militares, lo que incluye escasa visibilidad, golpes y saltos bruscos, dificultad para pulsar teclas o botones, etcétera y condiciones extremas de trabajo, como pueden ser un combate o la extinción de un incendio.

Es por ello que principios novedosos de teoría cognitiva (e incluso de ingeniería cognitiva, como se destaca en el trabajo de [Rot01] y [Sch00]) y usabilidad, tales como reducción de sobrecarga en el espacio visual [Ash94], identificación de estímulos por mayor penetración en visión periférica del movimiento [Hed85], repetición de procedimientos entre tareas similares para aumentar la automatización [Hed85], elaboración considerable del grado de información agrupándola entorno a patrones comunes ('clustering' de información [Son05]) para facilitar el ciclo cognitivo y la toma de decisiones [Tha96], han sido aplicados en el diseño del interfaz. Un proceso iterativo de desarrollo, siempre en contacto y pruebas con los usuarios finales y su *feedback* han reforzado y mejorado las soluciones iniciales.

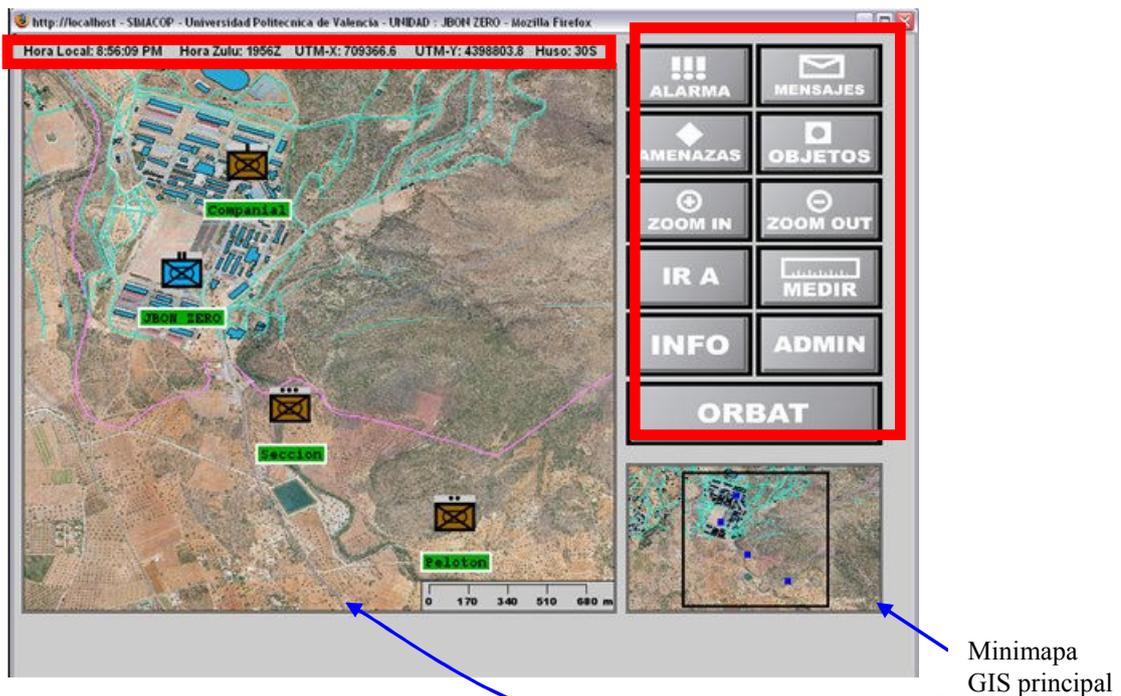


Figura 52: Interfaz principal del GUI.

Como se puede ver en la figura anterior la pantalla principal se compone de cuatro campos: una barra de información general ubicada en la parte superior de la pantalla, la botonera principal, el GIS y el minimapa.

En dicho interfaz de usuario se observan unos botones básicos para interactuar con el GIS (ZOOM IN, ZOOM OUT, IR A y MEDIR), un botón para acceder al filtrado jerárquico de la información (ORBAT), un botón de información extendida (INFO) y otro para la administración del sistema, tanto a un nivel básico como avanzado. Por último se pueden observar cuatro botones con funcionalidades extra como son las alarmas, los mensajes, las amenazas y los objetos. En todo momento un oficial puede detectar un evento prioritario y crítico, como puede ser un ataque y para señalarlo a toda la red simplemente deberá pulsar en el botón de alarmas que le conducirá a una pantalla donde se mostraran las alarmas preconfiguradas existentes más dos configurables.

Las amenazas siguen un algoritmo de validación por parte de unidades de nivel jerárquico superior respecto a amenazas generadas por unidades de un nivel jerárquico inferior. Similares a las amenazas, aunque sin validación y sin símbolo sino simplemente una cadena textual referenciada a un punto en el mapa, se encuentran los objetos. Su principal utilidad se puede encontrar para señalar elementos o eventos no críticos detectados en el teatro de operaciones como un puente o un hospital.

Por último cabe destacar la funcionalidad de mensajería o ‘chat táctico’ que permite la comunicación textual entre nodos. Esta herramienta ha sido destacada como de extremada utilidad por parte de los usuarios finales para la sustitución, en múltiples ocasiones, de las comunicaciones vocales. Piénsese, por ejemplo, que en las configuraciones multimalla los usuarios de una malla no pueden comunicarse directamente con usuarios de otra distante más de un salto vía voz, sin embargo el sistema SIMACOP hace de enrutador y permite la comunicación entre mallas, independientemente de la distancia entre ellas. Así el ‘chat táctico’ es una herramienta muy rápida de envío de órdenes y reportes entre distintas unidades.

Dichos flujos de información (mensajes, alarmas, amenazas y objetos) van por caminos distintos entre sí y respecto a las posiciones de forma que se establecen una serie de colas a nivel de pila TCP/IP como políticas de planificación en cuanto a los procesos y servicios que las atienden para poder priorizar unos flujos respecto a otros. Todo esto se verá con más detalle en el punto de tiempo real.

Otro elemento importante en la aplicación es la utilización de cartografía vectorial. Con la misma se ofrece la facilidad al usuario de utilizar superponibles sobre la marcha y poder poner y quitar, en caliente, diversos elementos geográficos o logísticos como pueden ser carreteras y comunicaciones, conducciones de gas o de agua, cultivos, líneas e infraestructuras eléctricas o de telecomunicaciones, etc.

4.5.3 Esquemas de replicación de datos en el sistema de seguimiento de fuerzas propias

Una característica fundamental de los sistemas FFT, como se ha visto en el capítulo 2, es el uso de medios con muy limitado ancho de banda debido a su utilización en escenarios tácticos. Esto incide claramente en los servicios disponibles y fundamentalmente en los retardos de réplica, que son elevados y de varianza difícilmente caracterizable. Es por ello que se precisan mecanismos de réplica y de calidad de servicio adecuados a un entorno con estas características. En el presente punto se detalla el esquema de replicación de datos propuesto e implementado en el sistema de seguimiento de fuerzas propias que valida la arquitectura propuesta al permitir la réplica de información entre todos los nodos en tiempo útil.

A continuación se detalla un estudio que pone de manifiesto las limitaciones de los medios radio a utilizar en la arquitectura del sistema con solución vehicular. Dicho estudio se llevó a cabo de manera iterativa con el desarrollo y pruebas del sistema y condujo a la determinación de un tipo concreto de algoritmo de réplica y retransmisión de datos. En concreto para las radios PR4G F@astnet VHF se llevaron a cabo una serie de mediciones para caracterizar las prestaciones que daba el canal radio a la hora de transportar la información de la aplicación. Dichas mediciones se tomaron con una o varias radios, cada una de ellas con una computadora asociada en la que se ejecutaba la aplicación SIMACOP y los servicios de réplica de datos. Todas las radios están, lógicamente en la misma malla PR4G (misma frecuencia y dominio de broadcast). Hay que destacar que los resultados obtenidos con radios Harris 5800 de HF son todavía peores pues el ancho de banda utilizable es menor y el canal es simplex.

Inicialmente se mostrarán medidas de retardos en distintos modos. Todas las medidas se tomaron con las radios estáticas a distancias de 100-200 metros.

En la siguiente figura se observan los retardos para dos radios PR4G IPMUX punto a punto en la misma malla con 10 bytes de PDU.

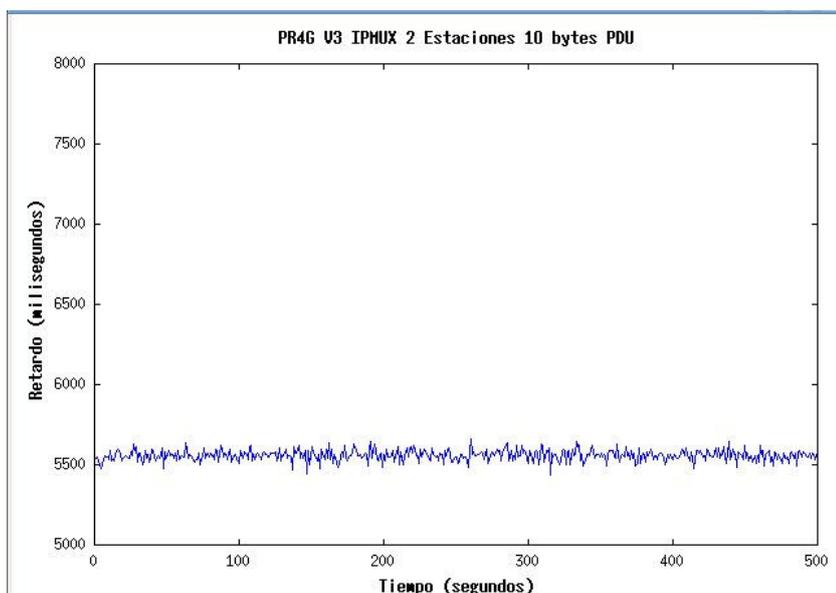


Figura 53: PR4G IPMUX 2 estaciones 10 bytes PDU

Para PDU de 50 bytes tenemos:

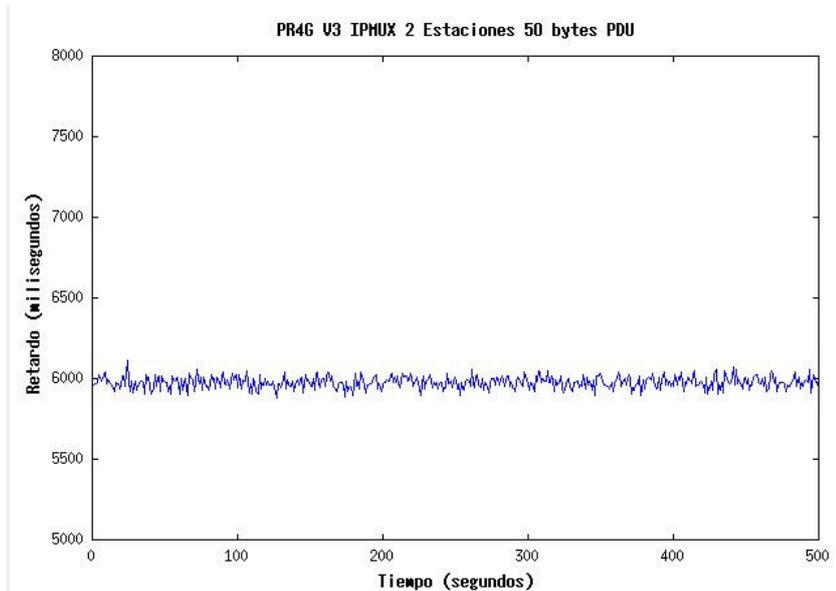


Figura 54: PR4G IPMUX 2 estaciones 50 bytes PDU

Mientras que para una PDU de 100 bytes se obtuvieron los siguientes valores:

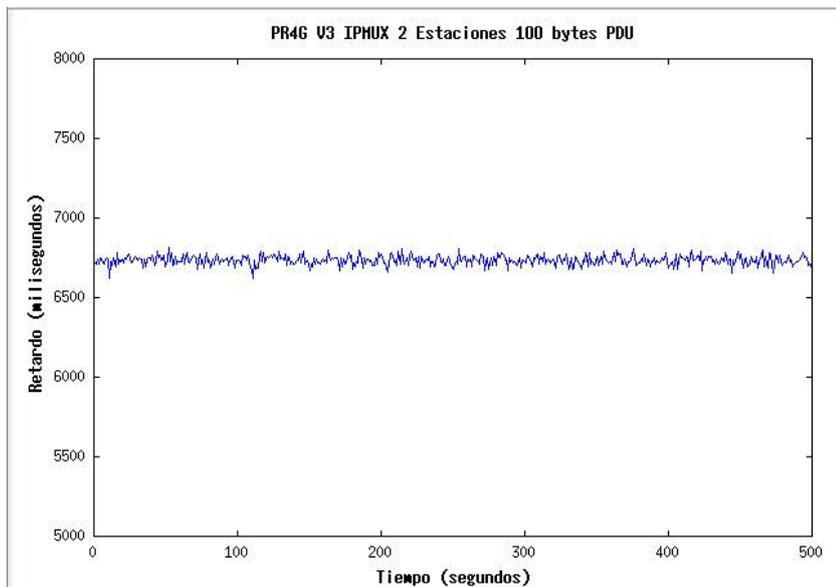


Figura 55: PR4G IPMUX 2 estaciones 100 bytes PDU

Para PDU de 500 bytes se obtuvieron los siguientes valores de retardo:

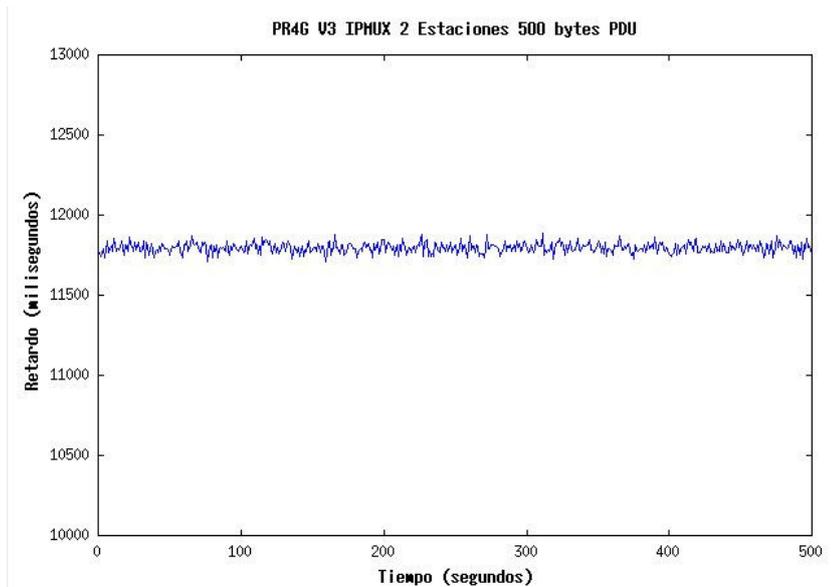


Figura 56: PR4G IPMUX 2 estaciones 500 bytes PDU

Lo expuesto en las anteriores gráficas se puede observar en la siguiente tabla:

	10 bytes PDU	50 bytes PDU	100 bytes PDU	500 bytes PDU
Media retardo en ms	5560,70	5977,38	6737,45	11798,59
Varianza retardo en ms	1123,46	1299,84	937,20	886,02

Tabla 6: Estadísticos para el retardo con 2 estaciones PR4G

Para el caso de la configuración de varias radios conectadas una a n, una como directora y las otras como subordinadas se obtuvieron muestras en un escenario de 1 a 3. Las siguientes gráficas muestran los retardos para las mismas configuraciones que en el caso anterior, esto es PDU de 10, 50,100 y 500 bytes.

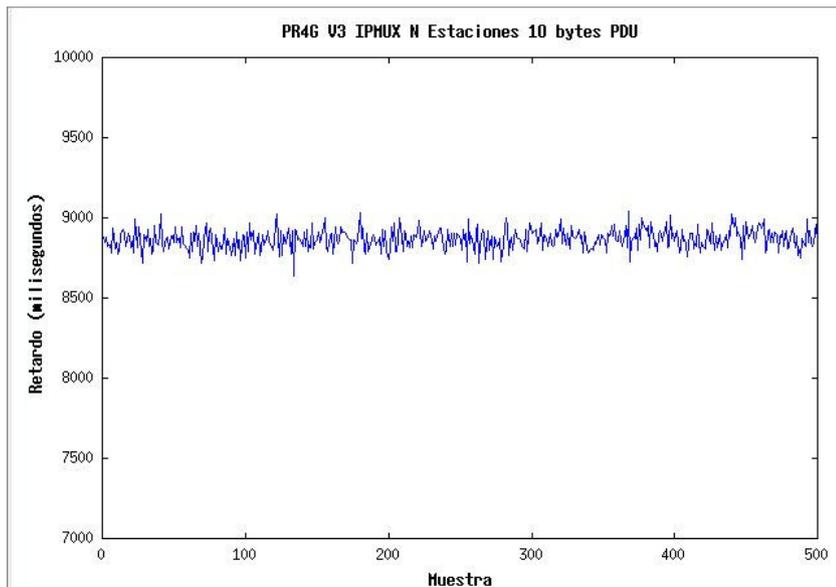


Figura 57: PR4G IPMUX N estaciones 10 bytes PDU

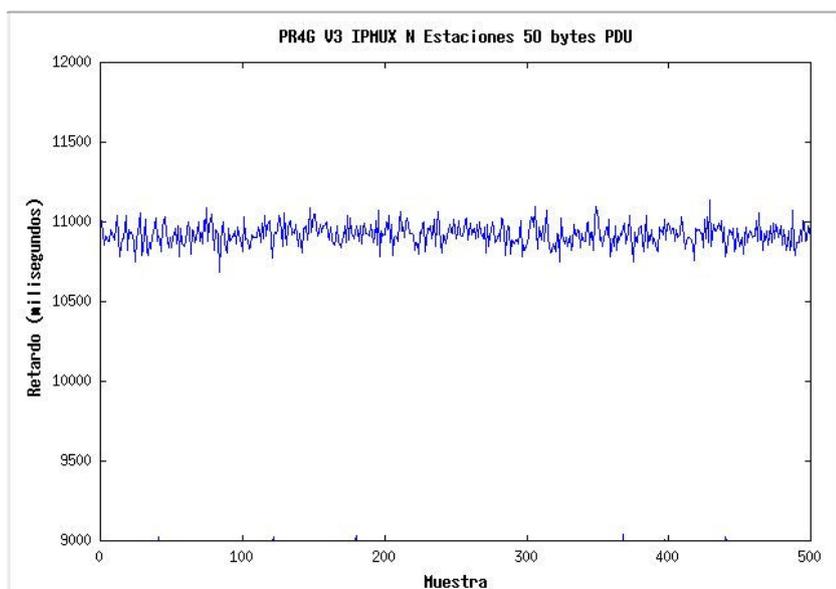


Figura 58: PR4G IPMUX N estaciones 50 bytes PDU

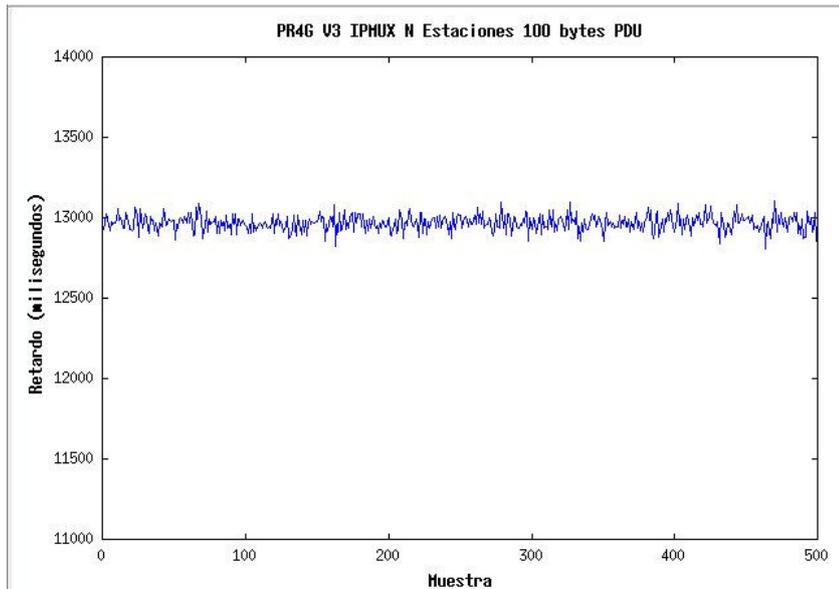


Figura 59: PR4G IPMUX N estaciones 100 bytes PDU

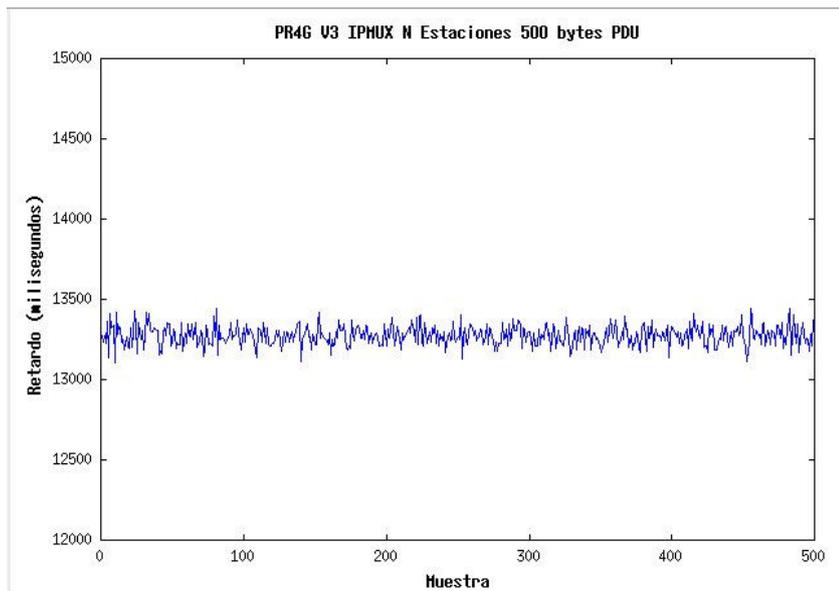


Figura 60: PR4G IPMUX N estaciones 500 bytes PDU

En este caso los estadísticos presentaron los siguientes valores:

	10 bytes PDU	50 bytes PDU	100 bytes PDU	500 bytes PDU
Media retardo en ms	8871,30	10923,50	12966,13	13273,21
Varianza retardo en ms	3561,40	4592,69	2239,36	3542,66

Tabla 7: Estadísticos para el retardo con N estaciones PR4G

Respecto al ancho de banda ofrecido por estas radios es de destacar que el ancho de banda medido nunca excedió de 1200bps en modo IPMUX. Existen otros modos de funcionamiento de las radios como por ejemplo IPSAP, y en concreto, los resultados de las medidas, tanto de retardos como de ancho de banda, son algo mejores (40% en ancho de banda y 35% en retardo) pero IPSAP no es viable puesto que no permite simultanear voz y datos.

En las dos siguientes figuras se pueden ver los resultados de ancho de banda para una transmisión en modo IPMUX. En el primer caso sólo hay un flujo de datos en la malla y en el segundo caso el ancho de banda se comparte entre varios.

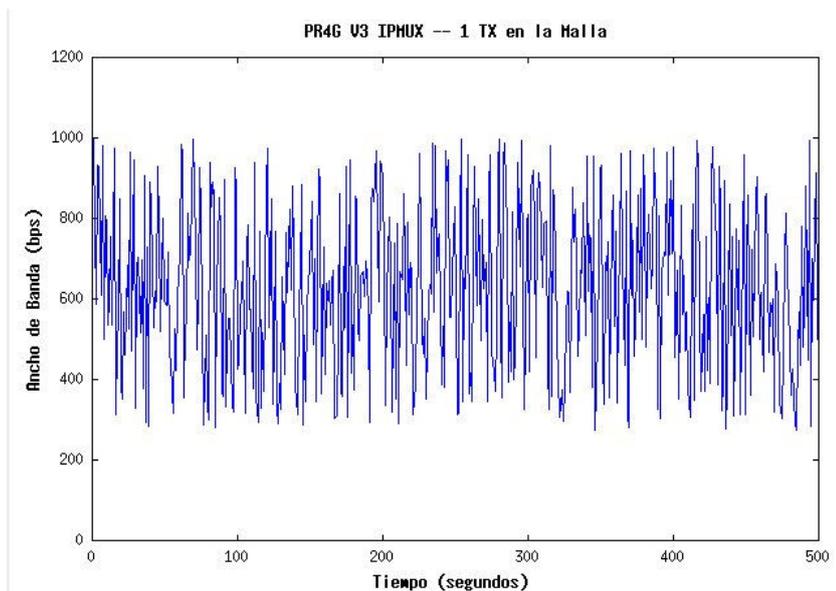


Figura 61: Ancho de banda experimentado (1 transmisión en la malla)

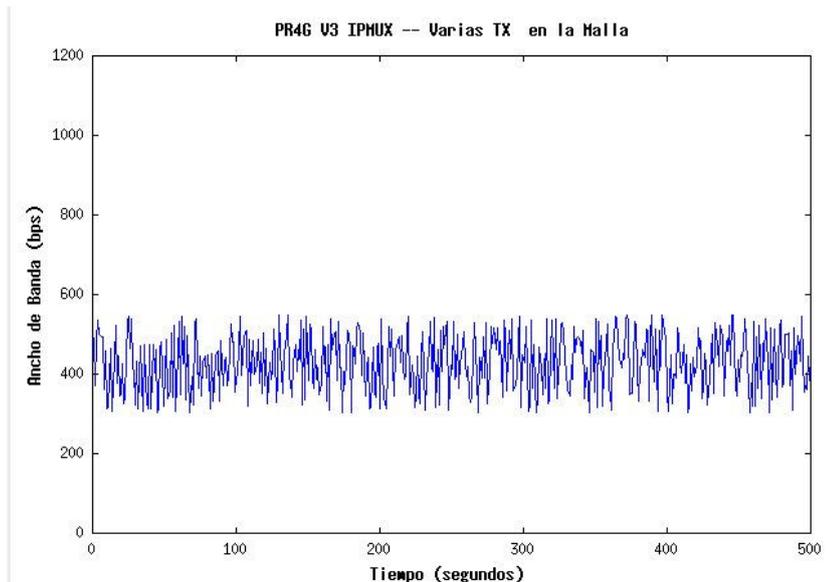


Figura 62: Ancho de banda experimentado (varias transmisiones en la malla)

Como se puede observar los medios de transmisión VHF son extremadamente restrictivos y limitantes para el sistema a desarrollar. Como se ha comentado previamente los medios radio HF y los medios de VHF de anterior generación aun son más limitadores. Estas limitaciones estudiadas, junto con otros requisitos de diseño condujeron a la elaboración de una serie de algoritmos y políticas de replicación de la información entre nodos.

Entre las características elegidas para la arquitectura de réplica podemos destacar:

- La característica fundamental que se ha perseguido en el diseño de la réplica de datos ha sido, como en prácticamente todos los puntos del presente trabajo, la simplicidad. El mecanismo debe ser extremadamente simple tanto en su implementación como en su funcionamiento para no sobrecargar a los nodos ni a la red, minimizando además puntos de fallo e implicando únicamente a los agentes imprescindibles.
- No sobrecargar el canal con información excesiva. Optar por minimizar la información transferida a lo imprescindible, eliminando cualquier tipo de redundancia y utilizar compresión cuando proceda. Envío de datos de reducido tamaño y a ráfagas, buscando adecuarse a las características del canal.
- Eliminar el uso de retransmisiones, protocolos de comunicación y transferencia a varias bandas y reducir el número de ACKs al mínimo imprescindible. Piénsese, por ejemplo, en la utilización de radios HF con sus características, esto es, canal símplex, elevada latencia y polling secuencial en el acceso al canal compartido (lo que conduce a un aumento en la distancia entre slots para el acceso al mismo para una estación conforme aumenta el número de las mismas).
- No se precisa que estén de acuerdo y estrictamente coordinados temporalmente emisor y receptor. Además, para los tipos de datos a tratar en esta solución la pérdida eventual de algún paquete no es grave. Por ejemplo, si se pierde un paquete con una posición ésta quedará invalidada por la siguiente que se generará tras n segundos fijados en el periodo de muestreo. Lo mismo sucede con un stream de vídeo o cualquier tipo de información multimedia que pueda enviarse (aunque esto sólo puede llevarse a cabo en medios con el adecuado ancho de banda, como satélite, WiMAX, etc.). Para el caso de la propagación de alarmas, amenazas y mensajes, que

sí pueden precisar un mecanismo de ACK, se optó por una estrategia mixta basada en que si un nodo no consigue enviar una determinada información, salvo casos muy concretos, acabará estando en condiciones de volver a enviar dicha información, todo esto combinado con el uso de ACKs, pero muy particulares para no sobrecargar. Por ejemplo en el caso del envío de amenazas, aunque estimado como menos prioritario, existía un requerimiento de usuario de una validación o ACK a nivel operativo por parte de oficiales de nivel superior respecto a oficiales de nivel inferior, lo cual sí se implementó. Debido a este punto y al anterior, se utiliza el protocolo UDP que no precisa ACKs a nivel de transporte, permite la pérdida de paquetes y es unidireccional.

- Esto conduce también al diseño de una arquitectura muy desacoplada entre emisores y receptores. El emisor comprueba que posee información para enviar y la envía por los medios que sabe que están disponibles para la comunicación con los receptores. Los mismos lo único que hacen es estar a la escucha por los canales habilitados y al recibir información la insertan en sus bases de datos. La aproximación se puede considerar muy distribuida y *'stateless'* pues en todo momento los nodos desconocen el estado general de la red.
- Al hilo del punto anterior hay que destacar que se optó por un esquema de comunicación *'clusterizado'* de forma que un nodo dado, durante el curso de una operación se comunica con y sabe de la existencia de muy pocos nodos de los existentes. Esto es debido, inicialmente, a un requisito operativo de diseño puesto que dada la naturaleza jerárquica de los elementos implicados, sólo tiene sentido, en principio, que se comuniquen nodos del nivel jerárquico N con los de nivel jerárquico N-1 o N+1. Esto desde el punto de vista de las limitaciones radio citadas es una gran ventaja pues un nodo acaba comunicándose con 4-5 nodos a lo sumo con la mejora de que, al pertenecer a un nivel jerárquico próximo es muy probable que la distancia no sea muy grande y por tanto las probabilidades de una buena conectividad radio son mayores. En el caso de unidades de nivel jerárquico elevado (piénsese en nivel de batallón o compañía) donde esto no se cumple y en la práctica se ha observado un mayor grado de conmutación entre medios radio al perderse la conectividad o bien directamente en estos niveles los enlaces con el inferior son HF permitiendo la comunicación a largas distancias de 'islas' de VHF, más próximas entre sí geográficamente. Este último punto se pudo constatar en las maniobras LIVEX'08 en el campo de maniobras de Chinchilla que se comentan en el capítulo 4 del presente trabajo.
- Otro punto importante que se buscaba era la robustez y la tolerancia a fallos de forma que pérdidas en un enlace, caídas de un nodo u otro tipo de mal funcionamientos no afectaran al rendimiento global del sistema permitiendo que el mismo siguiera operativo al producirse un evento de estas características.

El punto de limitación de las comunicaciones destacado anteriormente se puede observar en la siguiente figura:

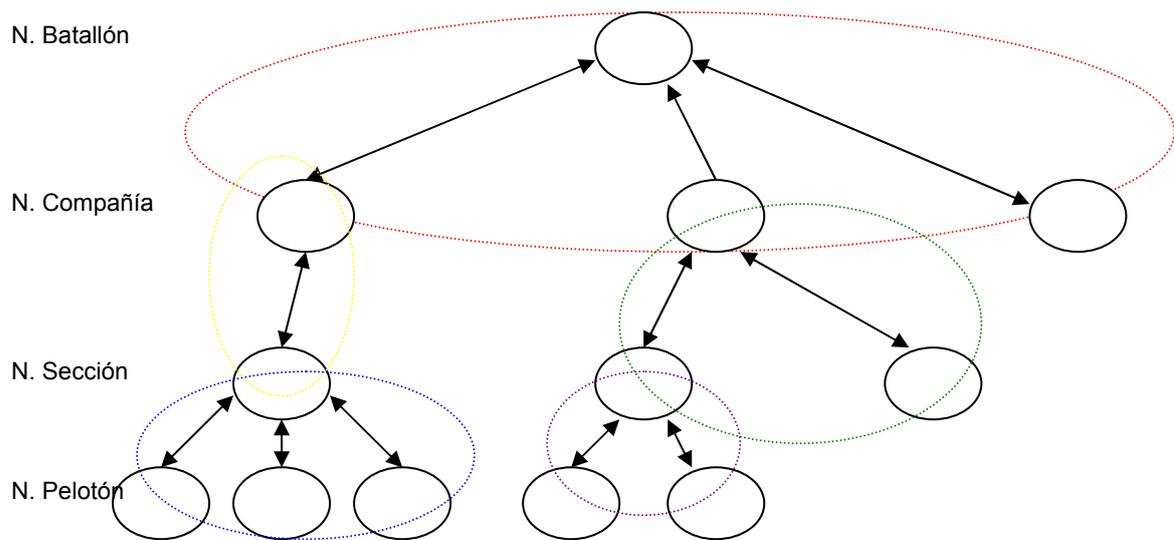


Figura 63: Limitación de las comunicaciones y 'clusterización' por niveles jerárquicos en la operativa.

En la misma se puede observar una configuración bastante típica en la tenemos un batallón del que dependen tres compañías. De la primera de ellas depende una sección a la cual están asociados tres pelotones. De la segunda compañía dependen dos secciones de la primera de las cuales penden dos pelotones mientras de de la segunda ninguno. Por último tenemos una compañía de la que no depende ninguna unidad. Se puede observar que la comunicación se establece únicamente dentro de los clusters marcados (colores con puntos discontinuos) de forma que uno nodo únicamente sabe de y se comunica con nodos dentro de uno o dos (depende de su ubicación) como mucho clusters.

De esta forma, el procedimiento de funcionamiento del algoritmo es muy simple. En cada nodo existen servicios de Windows con una temporización adecuada el medio por el que van a transmitir y al tipo de flujo de datos concreto que van a enviar, que periódicamente se activan y comprueban si ha habido alguna actualización en su base de datos, bien sea posiciones, alarmas, amenazas objetos o mensajes. En tal caso formatea el mensaje a enviar para cada tipo de datos y lo pone en la cola correspondiente. El proceso de envío evalúa que nodos de los que se ha determinado por el fichero de misión susceptibles de recibir datos están disponibles y procede, cuando corresponde al envío de datos.

Por otra parte en cada nodo existen servicios receptores, independientes de los emisores, que están a la escucha de manera continuada por puertos particulares. En el caso de recibir datos los insertan en la base de datos.

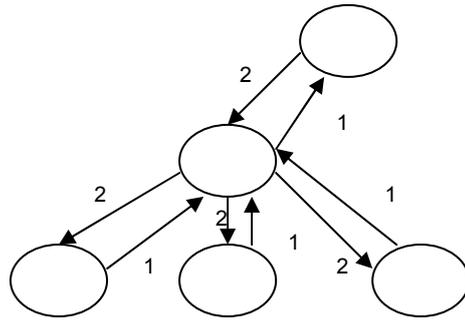


Figura 64: Comunicación entre nodos adyacentes jerárquicamente

En la figura anterior se puede observar el procedimiento de diseminación de la información entre nodos de jerarquía adyacente. Los nodos de nivel inferior (1) entregan (es de destacar que no existe una sincronización estricta entre ellos) al nodo superior las actualizaciones de datos en períodos preconfigurados recibiendo a su vez de dicho nodo las actualizaciones que el mismo disponga (2). Éste repite el proceso con el nodo de jerarquía superior. La información acaba por morir y se hacen comprobaciones estrictas para que no haya bucles o efectos de ‘rebote’.

En el caso de caer un nodo director, los nodos que de él dependen acaban detectando ese evento de caída existiendo un procedimiento automático, que puede ser apoyado por el operador y que es coherente con la situación orgánica, que permite que uno de los nodos que de él dependían, promueva a nodo director, asumiendo su rol respecto a los nodos dependientes y enlazando con el nodo de nivel superior.

Por otra parte está disponible la utilización de un canal de reconfiguración y gestión, en fase de desarrollo, que permite enviar datos de gestión por el mismo, sin interferir el envío de datos normal y, principalmente, mantener una comunicación de gestión cuando los medios varían. Uno de sus usos principales es el envío de modificaciones globales en las características del sistema (como filtros geográficos o períodos de actualización) a todos los nodos implicados en una operación, así como poder realizar modificaciones del ORBAT ‘en caliente’, durante el curso de la operación y enviarlas a todos los nodos del sistema para que se actualicen en consecuencia vía radio.

4.6 Interoperabilidad a nivel táctico

Otro aspecto que se ha investigado en el presente trabajo ha sido el de la interoperabilidad con sistemas de otros países y/o agencias. Este es un problema complejo como se vio en el estado del arte y donde hay, fundamentalmente, dos aproximaciones: interoperabilidad estratégica por medio de los mecanismos de MIP e interoperabilidad táctica, por medio de los mecanismos de NFFI. En este trabajo únicamente se ha investigado la interoperabilidad a nivel NFFI por ser ésta mucho más próxima al ámbito y las necesidades de la investigación, aunque es de destacar, como se ha visto en el punto de modelo de datos, que todos los prototipos utilizados en el presente trabajo implementaban el modelo de datos C2IEDM que es el que se utiliza en MIP. De hecho, la interoperabilidad vertical, vía COE-SIMACET, viene garantizada por el hecho de usar dicho modelo de datos.

4.6.1 Interoperabilidad vertical. Conexión con el COE

El sistema de mando y control del Ejército de Tierra Español, SIMACET, utilizado tanto para pequeña como para gran unidad, siempre de nivel de batallón hacia arriba, la herramienta COE (Common Operating Environment) para el intercambio de datos entre estaciones. Dichos sistemas utilizan el modelo de datos MDCET v1.7, subconjunto de C2IEDM y, debido a no usar este último de forma nativa, precisan de una pasarela específica para poder comunicarse con sistemas del mundo MIP, estándar OTAN para el intercambio de datos a nivel estratégico. En Febrero de 2007 JCIS y AT propuso al grupo de investigación STRD el desarrollo de una plataforma que permitiera la conectividad entre el sistema SIMACOP y SIMACET. Para ello se desarrolló un software específico que permite la conexión entre ambos sistemas, básicamente mediante la comunicación del sistema SIMACOP con la base de datos que incorpora el sistema COE y que refleja los modelos de datos anteriormente comentados.

Esto se puede ver en la siguiente figura:

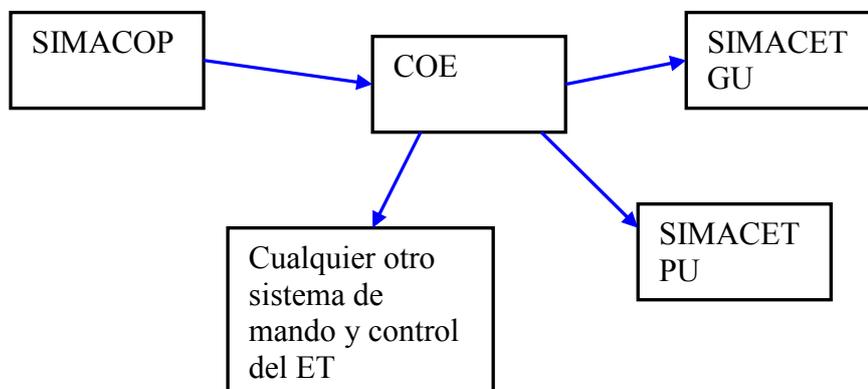


Figura 65: Interoperabilidad vertical del sistema SIMACOP

Hay que destacar que, como se observa en la figura, el sistema SIMACOP únicamente actúa como productor de datos. Esta es la aproximación lógica puesto que los sistemas de unidades de menor tamaño suelen generar los datos para los de mayor escala jerárquica, que actúan como consumidores de la información producida en los niveles inferiores. Sin embargo, actualmente se está trabajando para que el sistema SIMACOP también adquiera datos muy concretos de los sistemas de nivel superior.

Por otra parte esta pasarela ha sido probada en diversos ejercicios y tests de interoperabilidad como se verá en el capítulo de validación. Además el sistema de seguimiento de fuerzas propias SIMACOP, tras su adquisición, ha sido integrado en la arquitectura global de sistemas de mando y control del ejército de tierra dentro de la parte de gestión de comunicaciones del COE.

4.6.2 Interoperabilidad horizontal. Estándar NFFI.

El estándar NFFI, correspondiente al STANAG 5527, como se vio en el estado del arte, es un estándar vivo todavía en desarrollo. Se compone fundamentalmente de un modelo de datos y de tres perfiles denominados IP1, IP2 y SIP3 para el intercambio de información estando los dos primeros ya cerrados y el último en uso pero todavía recibiendo mejoras por parte de la comunidad de desarrollo que controla el organismo OTAN NC3A.

El modelo de datos define la unidad básica de intercambio en un mensaje XML dentro del cual puede encontrarse uno o varios tracks (definiendo track como la posición de una unidad). Por cada track encontramos cinco campos básicos, con un orden estricto que debe validarse respecto a un XSD dado, como se debe realizar con cualquier lenguaje generado a partir de XML. Dichos cinco campos, que ya se vieron con más detalle en el estado del arte, son los siguientes:

- *positionalData*
- *identificationData*
- *operStatusData*
- *deviceSpecificData*
- *detailData*

Los campos constituyentes de cada uno de los elementos XML se pueden ver en las siguientes figuras.

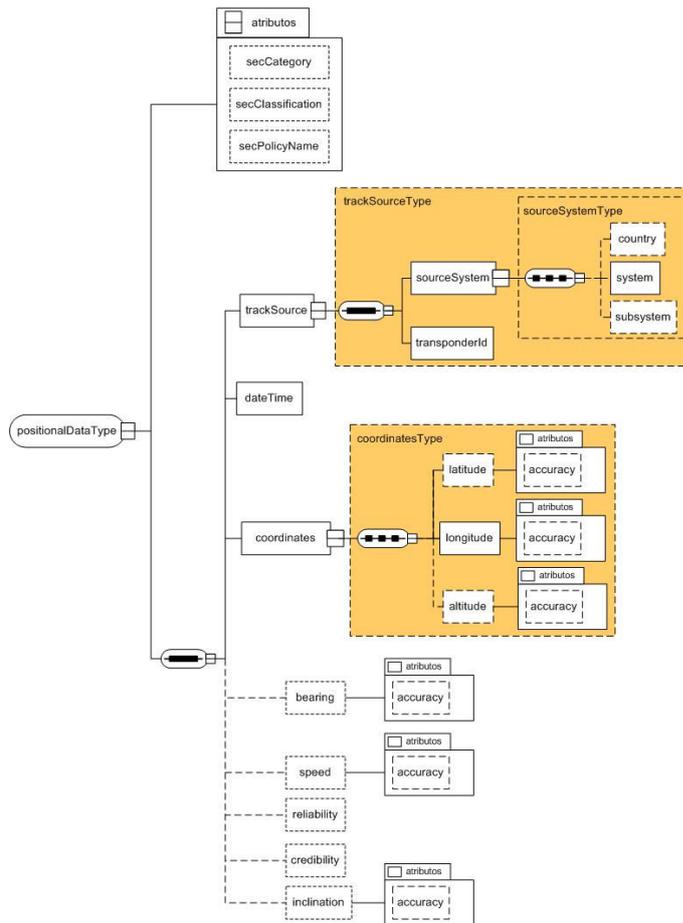


Figura 66: Campo positionalData

Esta sección (positionalData) está compuesta por datos básicos de posicionamiento e identificación de seguimiento. Formada por un conjunto de elementos que constituyen la mínima porción de datos que necesita ser intercambiado entre dos sistemas para caracterizar un seguimiento de una unidad. Esta sección es obligatoria en la definición del esquema del mensaje NFFI. Los dos campos principales son, lógicamente, longitud y latitud pues el campo altitud no suele enviarse en la práctica. Por otra parte hay una serie de elementos de identificación en esta sección (sourceSystem) como el campo del país (country, sigue el estándar de tres letras o el número que se especifica en el estándar ISO-3166-1 [ISO3166]), el sistema y el subsistema originador así como el interfaz (transponderId) por el que se envía. Datos de dirección, velocidad e inclinación también están opcionalmente presentes. El esquema de esta sección del mensaje NFFI se puede ver en la figura anterior.

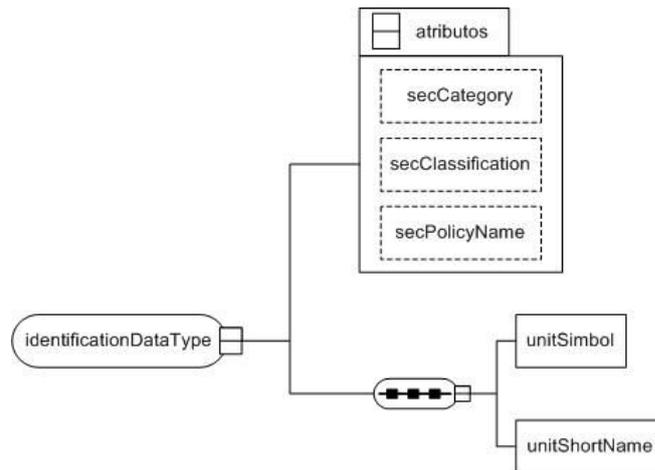


Figura 67: Campo identificationData

Los elementos de esta sección (identificationData) están agrupados de forma que se facilita la identificación de la unidad que está asociada con la información de posicionamiento. Se suele utilizar el campo unitshortName para una identificación textual, a nivel de implementación ese será el nombre con el que se representará la unidad en el GIS y el campo unitSimbol se utiliza para transmitir el código alfanumérico del símbolo APP-6A de la unidad. Esta sección es opcional en la definición del esquema del mensaje NFFI. El esquema de esta sección del mensaje NFFI se puede ver en la figura anterior.

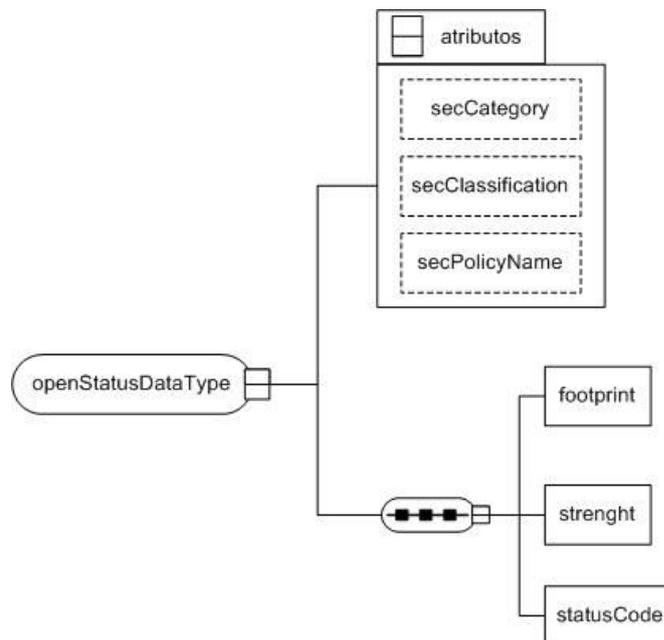


Figura 68: Campo operationalStatusData

Esta sección (operationalStatusData) facilita información sobre el estado operativo de la unidad relacionada con la sección de datos de posicionamiento. Todos los elementos de esta sección son opcionales. El esquema de esta sección del mensaje NFFI se puede ver en la figura anterior.

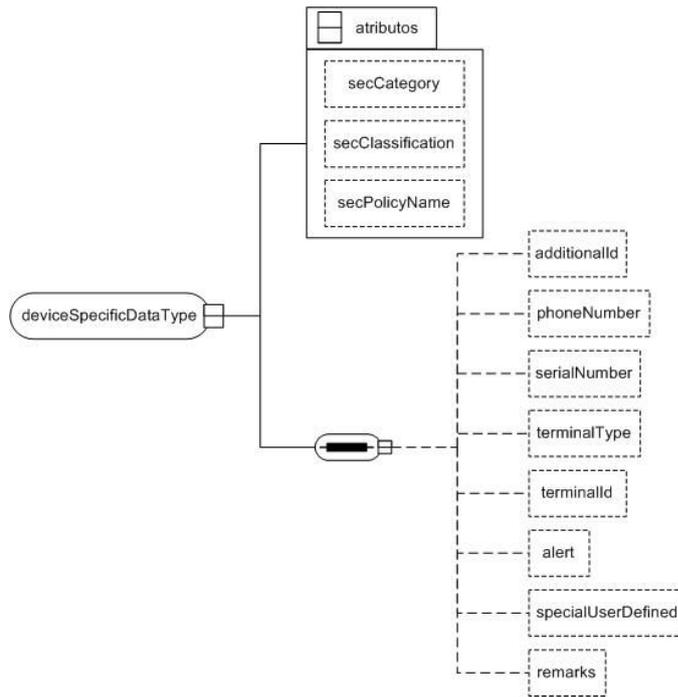


Figura 69: Campo deviceSpecificData

Esta sección (`deviceSpecificData`) facilita datos adicionales respecto a los dispositivos asociados a la unidad como pueden ser número de serie o tipo de terminal. Este campo es opcional en la definición del esquema del mensaje NFFI. El esquema de esta sección del mensaje NFFI se puede ver en la figura anterior.

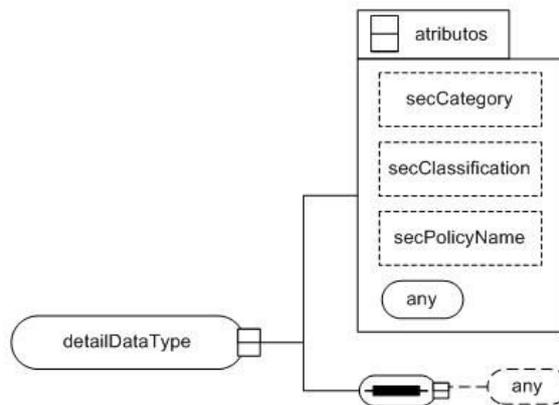


Figura 70: Campo detailData

Esta es una sección (`detailData`) abierta por el momento y pensada para futuras informaciones muy específicas. Las definiciones de los esquemas o formatos de esta información específica están todavía bajo discusión, aunque su uso es normalmente libre, siempre y cuando los interlocutores estén de acuerdo en su semántica, para poder introducir información textual extra de cualquier tipo (hasta 255 caracteres). Es opcional en la definición del esquema del mensaje NFFI. El esquema de esta sección del mensaje NFFI se puede ver en la figura anterior.

Es de destacar que todas las secciones tienen sus atributos opcionales secCategory, secClassification y secPolicyName. Las tres se corresponden a atributos de seguridad (categoría, clasificación y política a aplicar del track transportado) que se aplican, fundamentalmente en los denominados Boundary Protection Devices (BPD) que tiene definidos OTAN para el envío de información por XML.

La estructura de un mensaje NFFI se puede ver en a siguiente figura:

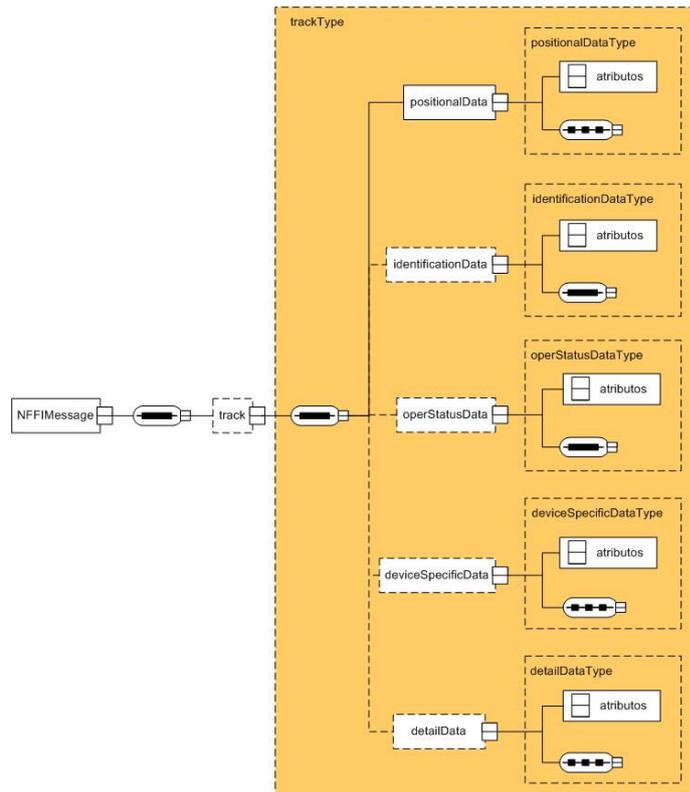


Figura 71: Mensaje NFFI

La implementación de la interoperabilidad NFFI en la presente arquitectura, constituida por la adquisición e intercambio de tracks, así como su envío a COE vía MDCET v1.7 se puede ver en la siguiente figura:

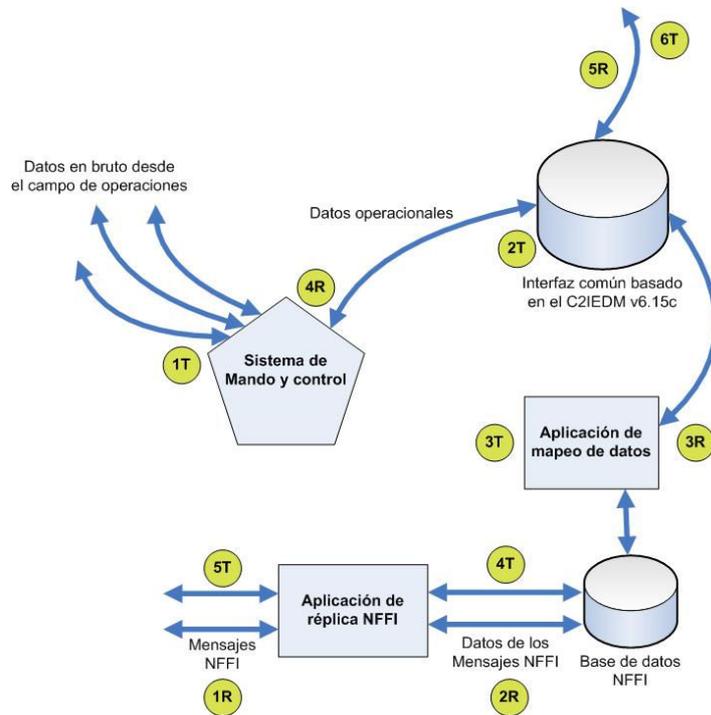


Figura 72: Comunicación NFFI

En esta figura podemos ver como actúa el sistema tanto en transmisión como en recepción, en transmisión se puede ver que las posiciones de las fuerzas propias llegan al sistema FFTS desde el espacio de operaciones (Ver número 1T en figura 72) y este las almacena en su interfaz de datos (Ver número 2T en figura 72).

Una vez almacenados en el interfaz de datos la aplicación de réplica mapea estos datos en la base de datos intermedia (Ver número 3T en figura 72) para a continuación componer el mensaje NFFI (Ver número 4T en figura 72) y enviarlo los demás sistemas FFTS (Ver número 5T en figura 72). A la vez que el sistema FFTS propuesto envía las posiciones de las fuerzas propias a los demás sistemas FFTS, este réplica estas posiciones a su nodo de mando y control de orden superior (Ver número 6T en figura 72).

En recepción el sistema actuaría a la inversa, recibiría los mensajes NFFI de los demás sistemas FFTS (Ver número 1R en figura 72), almacenaría su contenido en la base datos intermedia (Ver número 2R en figura 72) y posteriormente mapearía estos datos dentro del interfaz de datos del sistema FFTS (Ver número 3R en figura 72). Finalmente el sistema FFTS visualizaría las posiciones recibidas (Ver número 4R en figura 72) y las transmitiría al nodo de mando y control de nivel superior (Ver número 5R en figura 72).

Respecto al envío de datos, los dos primeros perfiles están considerados actualmente estándar cerrado (se congelaron en diciembre de 2006 [NFFI1]). La principal diferencia entre ambos es el transporte utilizado, TCP/IP para IP1 y UDP para IP2. El grupo de trabajo de NC3A estimó que ambos perfiles presentaban limitaciones por el hecho de tener un paradigma de comunicación fuertemente acoplado entre productores y consumidores, así como restricciones en cuanto a topología de red (falta de escalabilidad y complejidad), por lo que se propuso la utilización de tecnologías SOA (Service Oriented Architecture) para el perfil SIP3. Además de paliar los problemas anteriormente reseñados, en este caso se facilita la entrega de información particularizada (filtrado de la información), con mayores controles de seguridad y el acceso descentralizado. Todos estos aspectos se pueden ver con mayor detalle en el punto de estado del arte.

En el presente trabajo se han implementado soluciones NFFI para los tres perfiles con todas las características que marca el estándar y dicha implementación ha sido probada y validada en los ejercicios CWID'07 y CWID'08 de OTAN como se detalla en el capítulo 4 del presente trabajo.

4.6.2.1 Compresión NFFI

En escenarios de trabajo con recursos muy reducidos, como se ha visto que puedan ser los de la intervención ante una emergencia o los propios de operaciones militares, el ancho de banda es un bien escaso y XML, formato sobre el que se ha desarrollado NFFI, debido a su redundancia introduce una sobrecarga considerable. En la parte de estudio del estado del arte se investigó acerca de soluciones existentes que permitían comprimir mensajes XML, no sólo desde una aproximación de compresión de texto plano sino aprovechando la estructura que introduce XML. Todo esto se puede ver en el capítulo 2.

En ese trabajo previo se encontraron una serie de soluciones que podían ser las adecuadas a los requisitos del entorno en el que se iba a trabajar y finalmente nos decantamos por tomar la solución XMLPPM [XMP] y adaptarla a las características concretas del entorno en el que estábamos trabajando puesto que era una solución OSS y podíamos acceder al código. Fruto de esto y, bajo demanda del NC3A, se llevó a cabo un estudio del rendimiento de dicho sistema utilizando como muestra los valores de un trabajo previo del NC3A (NATO Command and Control Consultation Agency), el FTEX (Force Tracking EXperiment) donde se habían evaluado diversos sistemas y prototipos NFFI OTAN y se habían registrado todos los tracks enviados. Además, se solicitó que una vez evaluado el algoritmo con todas esas muestras comparásemos los resultados con un estudio llevado a cabo por el Norwegian Defence Research Establishment (FFI) con la herramienta de pago EfficientXML para poder estimar las diferencias respecto a una solución OSS completamente equivalente.

La información del estudio FTEX se componía de 2331 muestras que se dividieron en tres grupos según el tamaño de los mensajes XML. El primer grupo era de mensajes XML de tamaño menor o igual a 1 Kbyte y tenía 1297 muestras (grupo MIN), el segundo grupo era el de mensajes de tamaño mayor de 1Kbyte y menor de 15 Kbytes y tenía 428 muestras (grupo MED) y el tercer grupo era para los mensajes de tamaño mayor a 15 Kbytes y tenía 606 muestras (grupo MAX).

El estudio se llevó a cabo en una máquina Linux con kernel 2.6, Pentium 4 CPU 3Ghz con 512 MBytes de memoria RAM. El consumo de CPU y memoria fueron muy reducidos. Por ejemplo, los 2331 ficheros fueron comprimidos en 10.1 segundos, con un consumo de CPU de 4% de media y 8% de pico y un consumo de memoria de 10%. Hay que tener en cuenta que buena parte de ese consumo de recursos es debida a la búsqueda de ficheros y el cambio de contexto al trabajar con un conjunto tan amplio y fragmentado.

Para el grupo MIN se obtuvieron los peores resultados como era de esperar. En la siguiente tabla se pueden ver los valores obtenidos:

máximo	=	37.0526
Mínimo	=	1.52743
Media	=	1.67929
Desviación típica	=	1.02946
Varianza	=	1.05981

Tabla 8: Estadísticos para la tasa de compresión en el conjunto de muestras MIN

En la siguiente figura se puede ver la distribución de la tasa de compresión

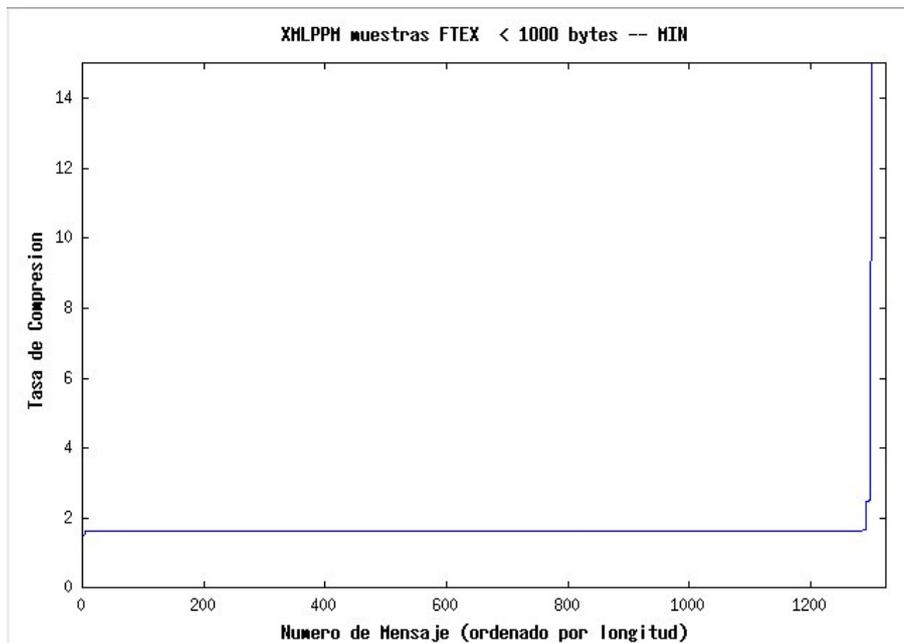


Figura 73: Tasa de compresión para el conjunto de muestras MIN

La comparación entre ficheros comprimidos y ficheros sin comprimir se puede observar en la siguiente figura:

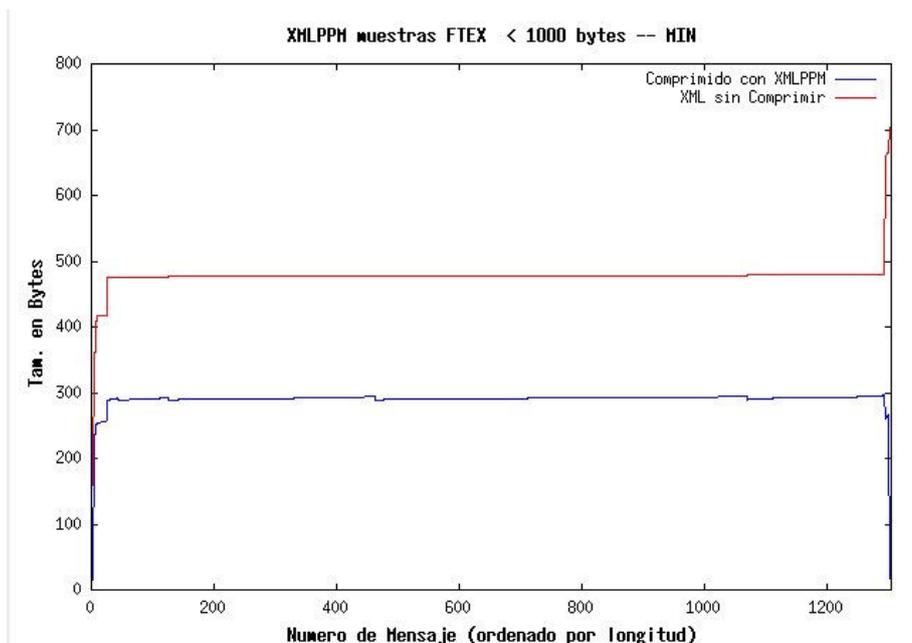


Figura 74: Resultados de compresión para la muestra MIN

Se puede observar que hay un valor de pico de 37 pero el valor promedio está en 1.67. Esto es debido a que, dado el pequeño tamaño de las muestras (<1KB), existe una baja redundancia, tanto textual como de estructura XML, de forma que se extrae una baja explotación de la aplicación de los algoritmos.

Para el conjunto de datos MED, el rendimiento del algoritmo es mucho mejor que para el conjunto MIN. Los datos del estudio se componían de 428 muestras (ficheros XML) de tamaños mayores que 1000 bytes y menores a 15000 bytes. La distribución de la tasa de compresión tenía los siguientes valores:

Máximo	=	32.14910
Mínimo	=	5.81890
Media	=	13.06587
Desviación típica	=	8.33723
Varianza	=	69.50950

Tabla 9: Estadísticos para la tasa de compresión en el conjunto de muestras MED

La distribución de la compresión se puede ver en la siguiente figura:

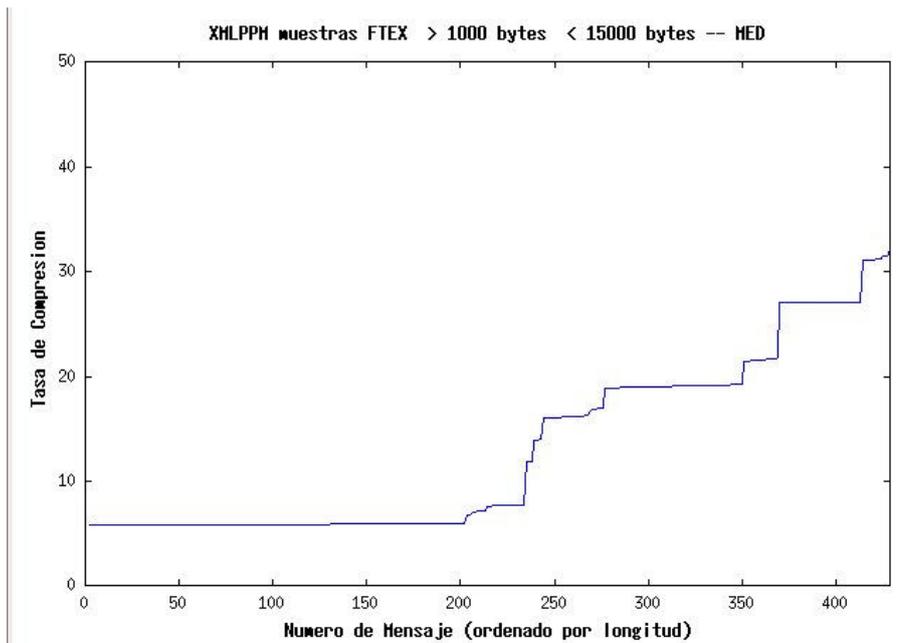


Figura 75: Tasa de compresión para el conjunto de muestras MED

La comparación entre ficheros comprimidos y ficheros sin comprimir se puede observar en la siguiente figura:

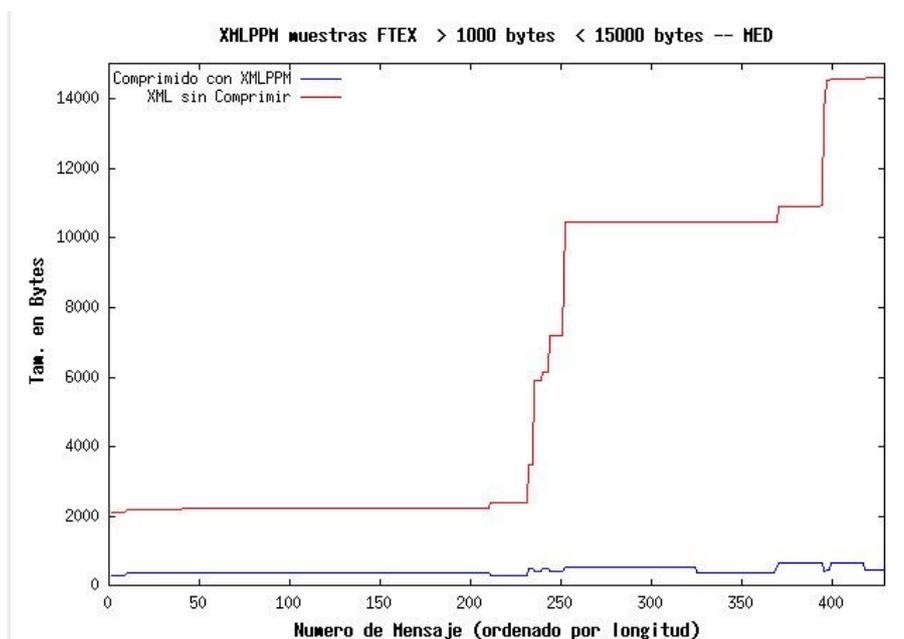


Figura 76: Resultados de compresión para la muestra MED

Se puede observar que la tasa de compresión es mucho mejor que en el caso previo con un valor de pico de 32.1491 y un valor medio de 13.065. La tasa de compresión permanece constante para valores de hasta 2.5 Kb y entorno a ese punto experimenta un crecimiento considerable. Un fenómeno similar se observa en tamaños entorno a 11.5 KB.

Para el conjunto de datos MAX se observan los mejores resultados, como era de esperar al existir un mayor grado de redundancia. El conjunto de datos del estudio se componía de 606 muestras (archivos XML) de tamaños > 15000 bytes. La distribución del ratio de compresión tenía los siguientes valores:

Máximo	=	46.31072
Mínimo	=	18.56480
Media	=	34.10587
Desviación típica	=	9.26726
Varianza	=	85.88211

Tabla 10: Estadísticos para la tasa de compresión en el conjunto de muestras MAX

La distribución de la compresión se puede ver en la siguiente figura

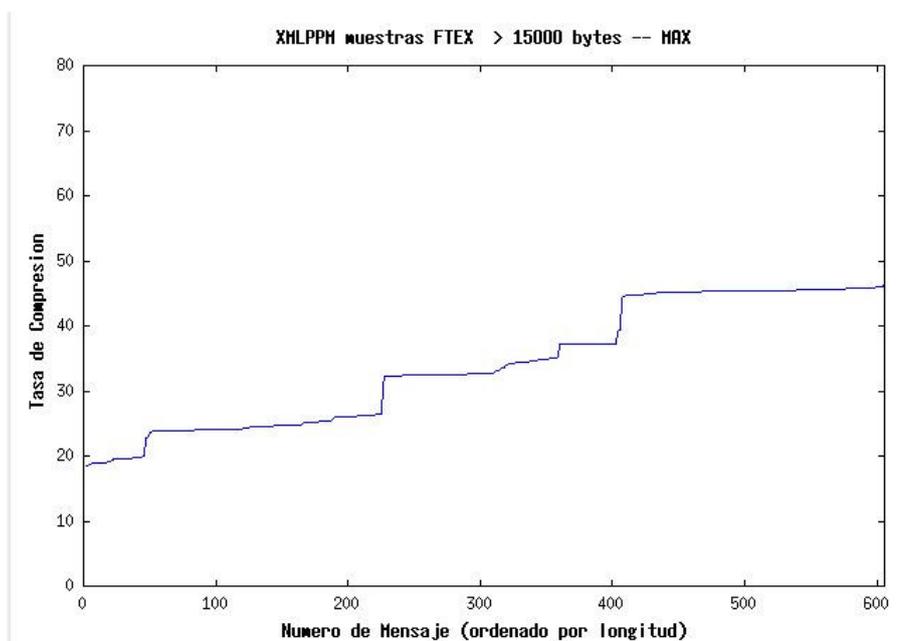


Figura 77: Tasa de compresión para el conjunto de muestras MAX

La comparación entre ficheros comprimidos y ficheros sin comprimir se puede observar en la siguiente figura:

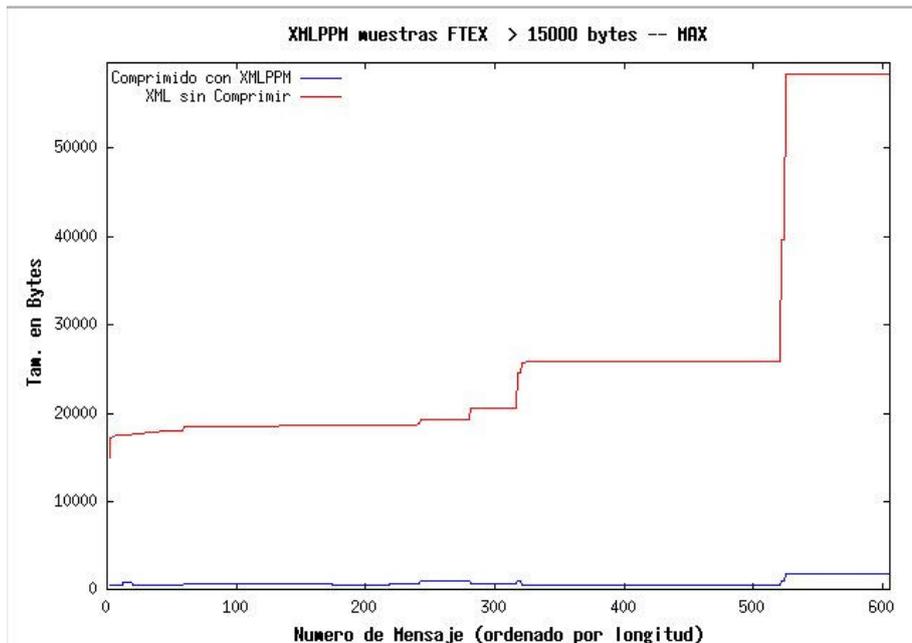


Figura 78: Resultados de compresión para la muestra MAX

Se puede observar que la tasa de compresión es la mejor de los tres conjuntos con un valor de pico de 46.31072 y un valor medio de 34.10587. Además se constata que la tasa de compresión crece linealmente con el tamaño del mensaje.

En la siguiente figura se muestra una comparativa de la tasa de compresión entre los distintos conjuntos: MIN, MED y MAX.

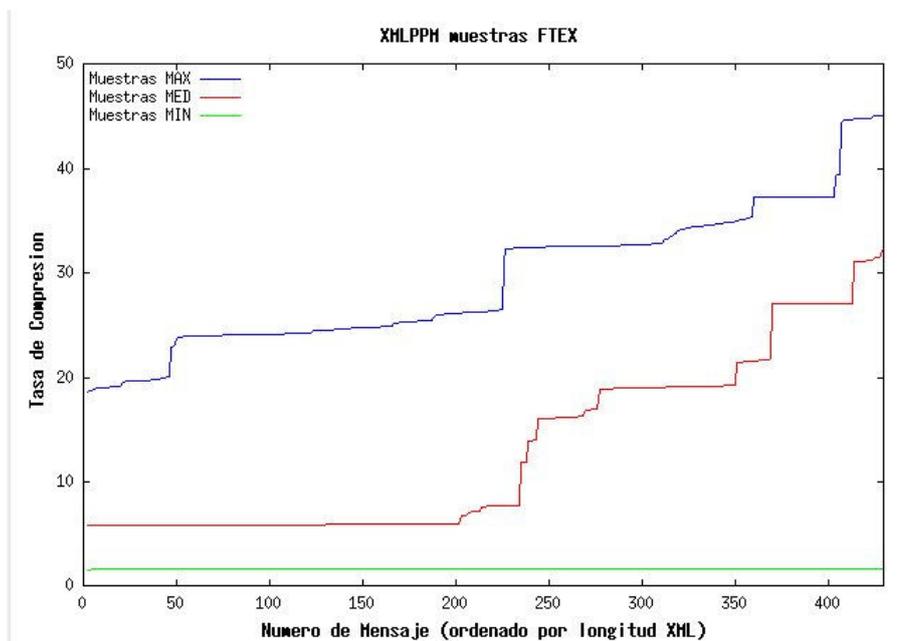


Figura 79: Resultados de compresión para los tres conjuntos, MIN, MED y MAX

Los peores resultados se obtienen con el conjunto MIN con una compresión promedio de 1.7. En el caso del conjunto MED la tasa de compresión tiene un valor medio de 13 con un pico de 32.1 mientras que para el conjunto MAX se obtienen los mejores resultados con un valor medio de compresión de 34.1. Como conclusión se puede destacar que los mejores resultados se obtienen cuando aumenta el tamaño de los mensajes NFFI puesto que el algoritmo explota la redundancia estructural de los mensajes XML.

Hay que destacar que el presente estudio, llevado a cabo por el grupo de investigación de sistemas de Tiempo Real Distribuido fue encargado por el organismo NC3A y las conclusiones del mismo condujeron a la incorporación del algoritmo XMLPPM dentro del estándar NFFI.

4.7 Aspectos de tiempo real

4.7.1 Evaluación previa

Un aspecto fundamental a la hora de diseñar una arquitectura que interactúe con elementos críticos en entornos reales es el de tiempo real o tiempo útil. En el caso del presente trabajo se estudió la necesidad de incluir características de tiempo real en el sistema de mando y control que se pretendía diseñar, implementar y probar. Inicialmente, se consideró pertinente que el sistema garantizase el cumplimiento estricto de determinadas garantías temporales debido a la criticidad de ciertos flujos que iban a transportar como era el caso de los flujos multimedia o de las señales biomédicas.

Es por ello que se evaluaron las diversas opciones existentes en el ámbito de los sistemas operativos de tiempo real, como por ejemplo QNX [Hil92], VxWorks [Weh06] y DROPS[Har98]. Sin embargo, en el presente trabajo de investigación nos interesaban las aproximaciones basadas en código abierto existiendo dentro de las mismas dos aproximaciones fundamentales: Real-time Linux (RT-Linux) y RTAI (Real Time Application Interface).

RT-Linux nació fruto del trabajo de investigación en el ámbito universitario de V.Yodaiken y M. Barabanov [Bar96] inicialmente como un proyecto con licencia GPL. Posteriormente ambos fundaron FSMLabs, una empresa que explotaba comercialmente dicho RTOS y patentaron el mecanismo de funcionamiento lo cual condujo a una separación en la comunidad de desarrollo y a diversos problemas para poder trabajar con la versión desarrollada por FSMLabs.

Por otra parte, partiendo de las ideas iniciales de RT-Linux, en la universidad Politécnica de Turín se desarrolló RTAI [RTAI], con soporte pleno para las extensiones POSIX 1003 [POS1003] y una serie de ventajas respecto al diseño de partida, como por ejemplo una pila TCP/IP de tiempo real estricto desarrollada en la Universidad de Hannover, rtnet[RTNET]. Es por ello que se optó por evaluar inicialmente RTAI como aproximación de trabajo.

En ambos casos, la aproximación elegida es aquella en la que el sistema operativo de tiempo real es un parche o una extensión del kernel de Linux que se ubica entre el hardware y el SO y captura y gestiona todas las interrupciones y planifica al SO original como si fuera una tarea de tiempo real más. Esto se puede ver en la siguiente figura:

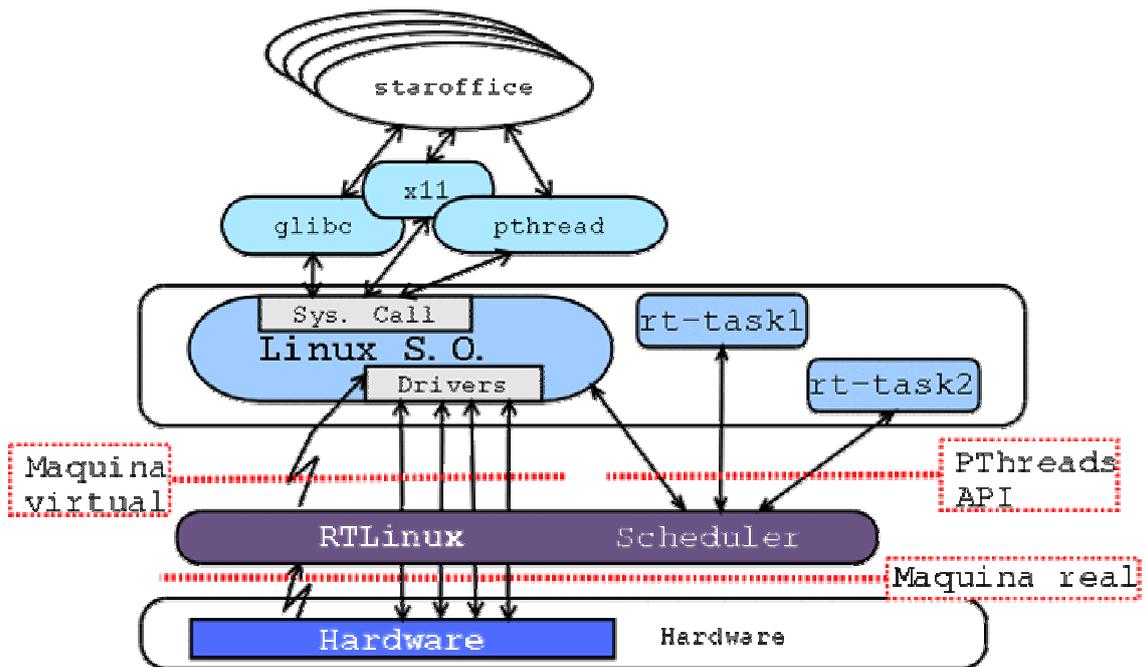


Figura 80: Esquema de funcionamiento de los sistemas Linux de tiempo real.

Una vez elegido el sistema operativo de tiempo real a evaluar se elaboró un banco de pruebas en el que se probó el sistema desembarcado con un sistema operativo Linux 'normal', en concreto un kernel 2.4.25 en el dispositivo SBC y un kernel 2.6.11 en el sistema que iba a actuar como puesto de mando, respecto a un sistema Linux de tiempo real, específicamente una distribución RTAI versión 3.4 y la pila TCP/IP de tiempo real rtnet versión 0.9.9, tanto en el sistema SBC como en el puesto de mando. El objetivo de estas pruebas era evaluar la transmisión y recepción de flujos de baja tasa, como las posiciones GPS, y de flujos de alta tasa como el vídeo de alta calidad. Los resultados de dichas pruebas se pueden evaluar a continuación.

En la siguiente figura se puede observar la comparativa de la transmisión de un flujo de datos de GPS por UDP tanto en el prototipo con facilidades de tiempo real (RT) como en el prototipo que carece de ellas (NRT).

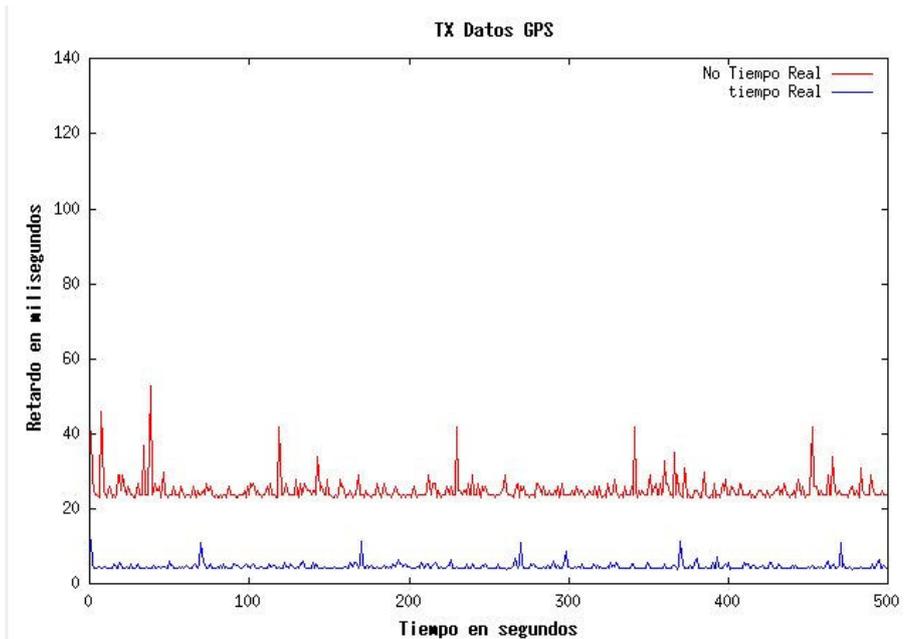


Figura 81: TX datos GPS baja tasa, TR vs. NRT.

En este caso se puede observar que para el prototipo NRT tenemos los siguientes valores estadísticos:

Max=53
 Min= 23
 Media=24.996
 Desviación típica=2.9464
 Varianza=8.681

Tabla 11: Estadísticos para el prototipo NRT datos GPS baja tasa

Mientras que para el prototipo RT:

Max=11.8
 Min= 3.9
 Media= 4.7912
 Desviación típica=0.89066
 Varianza=0.7932

Tabla 12: Estadísticos para el prototipo RT datos GPS baja tasa

En la siguiente figura se observa un muestreo similar pero añadiendo al flujo de GPS transmisión de datos (mensajería, datos biomédicos, etc.) a tasas medias

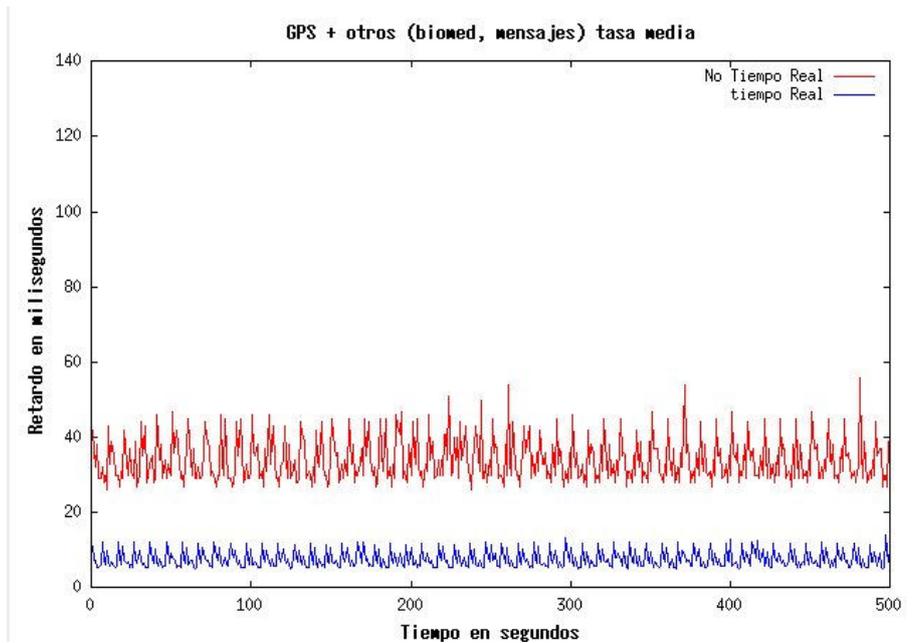


Figura 82: TX datos GPS+ biomed (tasa media), TR vs. NRT.

Para el prototipo NRT tenemos los siguientes estadísticos:

Max=56
 Min= 26
 Media=33.854
 Desviación típica=5.5727
 Varianza=31.055

Tabla 13: Estadísticos para el prototipo NRT datos GPS + biomed tasa media

Mientras que para el prototipo RT

Max=14.2
 Min= 5.1
 Media= 7.5614
 Desviación típica=2.1116
 Varianza=4.4586

Tabla 14: Estadísticos para el prototipo RT datos GPS + biomed tasa media

En la siguiente figura se observa un muestreo similar pero añadiendo al flujo de GPS transmisión de datos (mensajería, datos biomédicos, etc.) a tasas altas

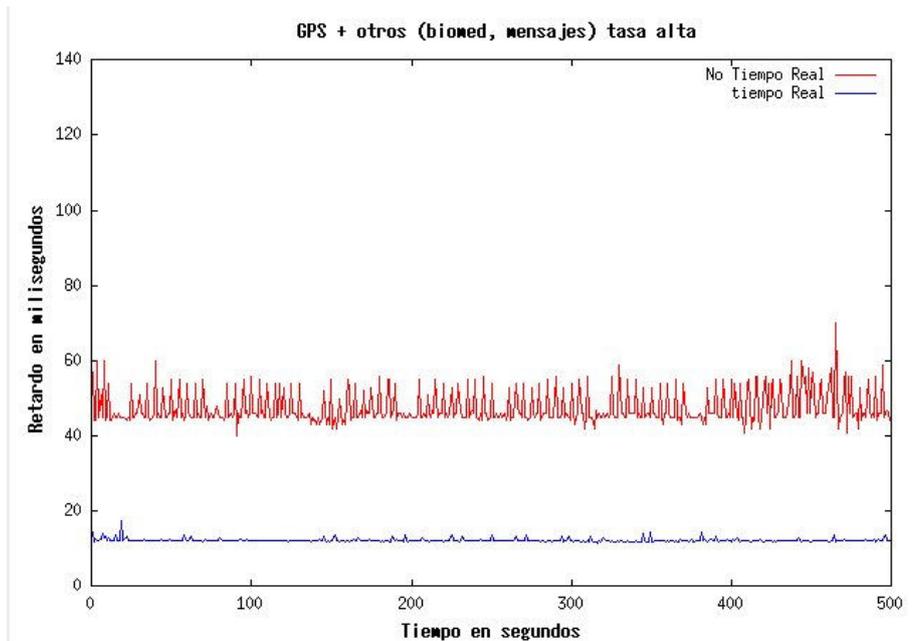


Figura 83: TX datos GPS+ biomed (tasa alta), TR vs. NRT.

Se observa que en el caso NRT los valores estadísticos son:

Max=70

Min= 40

Media=47.312

Desviación típica=4.2646

Varianza=18.187

Tabla 15: Estadísticos para el prototipo NRT datos GPS + biomed tasa alta

Mientras que para el caso RT:

Max=17.3

Min= 11.6

Media= 12.314

Desviación típica=0.44462

Varianza=0.19769

Tabla 16: Estadísticos para el prototipo RT datos GPS + biomed tasa alta

En la siguiente figura se pueden ver los valores de la transmisión de un flujo de video MPEG-4 a tasas medias por los dos prototipos, el que tiene funcionalidades de tiempo real y el que no.

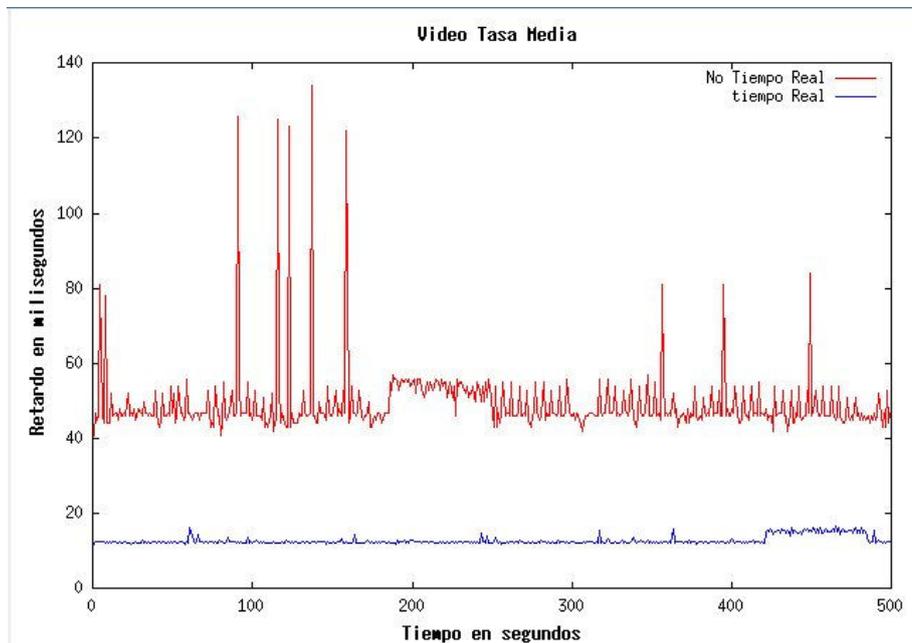


Figura 84: TX datos vídeo (tasa media), TR vs. NRT.

Los valores estadísticos para ambos casos

NRT	RT
max=134	max=16.7
min= 41	min= 11.8
media=49.084	media= 12.896
desviación típica=9.1986	desviación típica=1.0732
varianza=84.614	varianza=1.1518

Tabla 17: Estadísticos para el prototipo NRT y RT TX vídeo tasa media

En la siguiente figura la configuración es similar pero con tasas de video elevadas

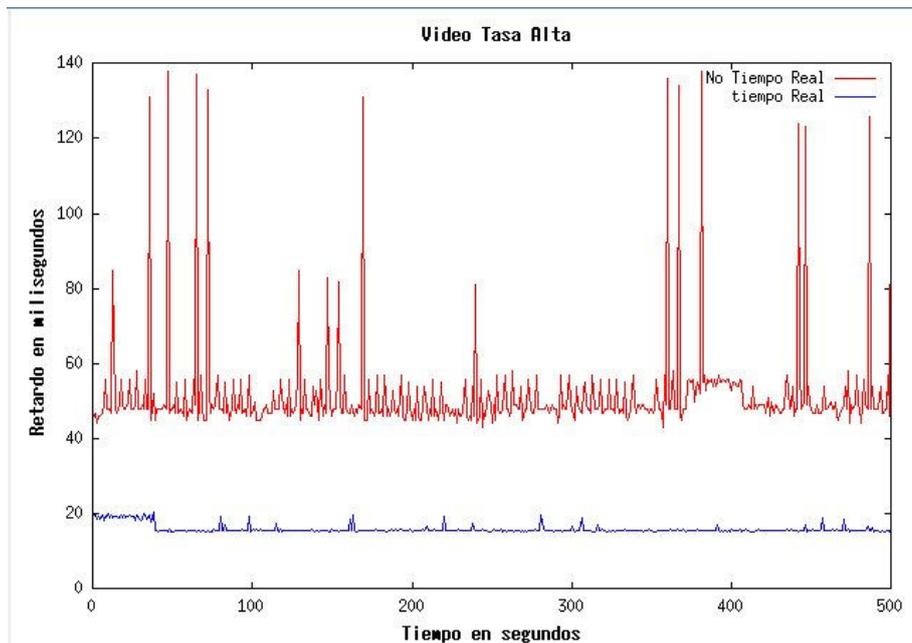


Figura 85: TX datos vídeo (tasa alta), TR vs. NRT.

Los valores estadísticos, para esta prueba:

NRT	RT
max=138	max=20.5
min= 43	min= 15.1
media=51.55	media= 15.995
desviación típica=13.377	desviación típica=1.0805
varianza=178.93	varianza=1.1674

Tabla 18: Estadísticos para el prototipo NRT y RT TX vídeo tasa alta

Con los datos extraídos se puede observar que en el caso NRT el offset es superior, con un valor medio entorno a 2.4-3 veces más. Además la varianza en el caso NRT es considerable mientras que en el caso RT esta es muy baja. Estos resultados son bastante lógicos y esperables en un sistema operativo de tiempo real que debe garantizar la predictibilidad temporal. Sin embargo, hay que considerar que estamos hablando de valores medios entorno a 40-60 milisegundos (caso NRT) respecto a 11-17 milisegundos (caso RT) y que para el contexto de aplicación de la presente tesis y su implementación estos tiempos no son muy relevantes. Piénsese que para la transmisión de flujos de posiciones, señales biomédicas, mensajería corta e incluso vídeo esos retardos no son relevantes, incluso tampoco las varianzas estimadas lo son.

Sin embargo, la penalización en desarrollo de dicho prototipo de tiempo real sí que puede llegar a ser considerable. Hay que forzar a utilizar Linux en todas las versiones, hay que desarrollar drivers para todos aquellos interfaces que no estén soportados por la pila TCP/IP de tiempo real rtnet, etc.

Por otra parte, en la versión vehicular cuyo desarrollo fue posterior, existía un requisito de diseño del usuario y era la utilización de Windows XP o 2000 como sistema operativo, el cual no tiene soporte para las funcionalidades de tiempo real anteriormente citadas. Este requisito entroncaba con el hecho de que la mayoría de los medios radio tácticos utilizaban drivers de los que no se disponía el código fuente y únicamente con versiones para Windows (casos de radio HF Harris 5800, medios Wimax de Zyxel, medios satélite, etc.).

Por todo ello, la conclusión de este estudio, junto con las restricciones señaladas, fue que no era imprescindible el uso de una solución de tiempo real estricto y que sin embargo su aplicación iba a limitar considerablemente las plataformas a desarrollar para implementar sistemas de mando y control.

Sin embargo era evidente la necesidad de utilizar algún tipo de mecanismo para priorizar los distintos flujos existentes en las soluciones desarrolladas, tanto vehicular como desembarcada, y asegurar su entrega con unas determinadas garantías.

Para ello se optó por una solución basada en servicios diferenciados (DiffServ) [RFC2474] [RFC2475] y en colas de prioridad en el sistema operativo de los nodos implicados (tanto computadores como hardware de red).

4.7.2 Solución implementada

4.7.2.1 Caso de la configuración desembarcada

En este caso se presentan dos entornos: el del prototipo con SBC y comunicaciones wifi y el del prototipo donde dicho software se integra en radios mesh que actúan como computador o nodo de procesamiento y como dispositivo de comunicaciones. En ambos casos la solución es muy similar y se basa en la utilización de herramientas de ‘traffic control’ y ‘traffic shaping’ en Linux, tanto a nivel de kernel como a nivel de espacio de usuario.

En la primera aproximación teníamos un esquema jerárquico donde todos los SBC que dependen de un puesto de mando se comunican directamente con el mismo mientras que en el segundo caso la comunicación se establece nodo a nodo, de manera mallada. En cualquier caso el esquema de colas de prioridad por nodo es el siguiente:

Cola prioridad flujos video	Cola prioridad flujos GPS	Cola prioridad flujos bioseñales	Cola prioridad resto de flujos no prioritarios
Medio Radio			

Figura 86: Colas de prioridad solución SBC

Con una prioridad decreciente de izquierda a derecha.

Para dicha aproximación la descripción de las colas se puede ver en el siguiente script:

```
#!/bin/sh
tc qdisc del dev ath0 root
tc qdisc add dev ath0 handle 1:0 root dsmark indices 64

tc class change dev ath0 classid 1:1 dsmark mask 0x3 value 0x90 # video
tc class change dev ath0 classid 1:2 dsmark mask 0x3 value 0x88 #GPS
tc class change dev ath0 classid 1:2 dsmark mask 0x3 value 0x0 #flujos sin prioridad

tc filter add dev ath0 parent 1:0 protocol ip prio 1 u32 match ip dport 2000 0xffff flowid 1:1
tc filter add dev ath0 parent 1:0 protocol ip prio 1 u32 match ip dport 2001 0xffff flowid 1:1
tc filter add dev ath0 parent 1:0 protocol ip prio 1 u32 match ip dport 2002 0xffff flowid 1:2
tc filter add dev ath0 parent 1:0 protocol ip prio 1 u32 match ip dport 2003 0xffff flowid 1:3
tc filter add dev ath0 parent 1:0 protocol ip prio 1 u32 match ip dport 2004 0xffff flowid 1:3
```

Tabla 19: Colas de prioridad en la solución desembarcada con SBC

Para la configuración mallada basada en las radios mesh de ITT el esquema de las colas fue el siguiente:

Cola prioridad flujos audio	Cola prioridad flujos GPS	Cola prioridad flujos vídeo	Cola prioridad resto de flujos no prioritarios
Medio Radio			

Figura 87: Colas de prioridad solución mallada

Con una prioridad decreciente de izquierda a derecha.

Para dicha aproximación la descripción de las colas se puede ver en el siguiente script:

```
#!/bin/sh
tc qdisc del dev meaq root
tc qdisc add dev meaq handle 1:0 root dsmark indices 64

tc class change dev meaq classid 1:1 dsmark mask 0x3 value 0x98 #audio
tc class change dev meaq classid 1:2 dsmark mask 0x3 value 0x90 #GPS
tc class change dev meaq classid 1:3 dsmark mask 0x3 value 0x88 #video
tc class change dev meaq classid 1:4 dsmark mask 0x3 value 0x0 #otros flujos no prioritarios

tc filter add dev meaq parent 1:0 protocol ip prio 1 u32 match ip dport 2000 0xffff flowid 1:1
tc filter add dev meaq parent 1:0 protocol ip prio 1 u32 match ip dport 2001 0xffff flowid 1:1
tc filter add dev meaq parent 1:0 protocol ip prio 1 u32 match ip dport 2002 0xffff flowid 1:2
tc filter add dev meaq parent 1:0 protocol ip prio 1 u32 match ip dport 2031 0xffff flowid 1:3
tc filter add dev meaq parent 1:0 protocol ip prio 1 u32 match ip dport 2004 0xffff flowid 1:2
tc filter add dev meaq parent 1:0 protocol ip prio 1 u32 match ip dst 10.0.0.0/8 flowid 1:2
```

Tabla 20: Colas de prioridad en la solución desembarcada integrada en las radios ITT

Esta priorización de los distintos flujos transmitidos se reforzó con la priorización de los procesos que los gestionaban, dentro del sistema operativo en cada nodo. De esta forma el proceso servidor de vídeo tenía una mayor prioridad que procesos que transmitían paquetes no prioritarios. Es de destacar que en las versiones del kernel 2.6, si se compilan con la opción RT_SCHED, permiten muchas facilidades de soft real time, así como una mayor predictabilidad en las llamadas al sistema, funcionalidad que también se utilizó en ambas aproximaciones.

4.7.2.2 Caso de la configuración vehicular

En el caso del diseño de la arquitectura del sistema embarcado hubo dos puntos que determinaron las características del mismo. El primero fue una restricción de diseño del sistema, al estar el mismo dentro de un convenio del Ejército de Tierra y exigir el mismo que el sistema operativo corporativo sea Microsoft Windows. En tal caso se optó por Microsoft Windows XP Professional, sistema que no tiene funcionalidades que garanticen el determinismo temporal en el cumplimiento de las llamadas al sistema y el transporte de datos. El segundo punto fue el conocimiento adquirido en el sistema desembarcado en el sentido de que con unas garantías por medio del uso de colas de prioridad a nivel de paquete y mecanismos pertinentes de gestión de dichos flujos, era más que suficiente para garantizar la correcta entrega de los datos, desde el punto de vista temporal, máxime si tenemos en cuenta que en la configuración vehicular no se iban a utilizar flujos multimedia, salvo en el caso de la transmisión por medios satélite.

Este caso presentaba una mayor complejidad que el desembarcado puesto que no sólo se requerían mecanismos que priorizasen los distintos flujos sino que se debía tratar con diversos medios radio, de manera transparente para el usuario y siendo algunos de ellos extremadamente restrictivos y limitantes (caso de las radios de VHF y HF).

En este caso se planteó una capa de adaptación con dos dimensiones: una que correspondía a la cola que priorizaba y trataba los distintos flujos y otra que correspondía a la cola que priorizaba y adecuaba los flujos para los distintos medios.

El esquema de la solución implementada fue el siguiente:

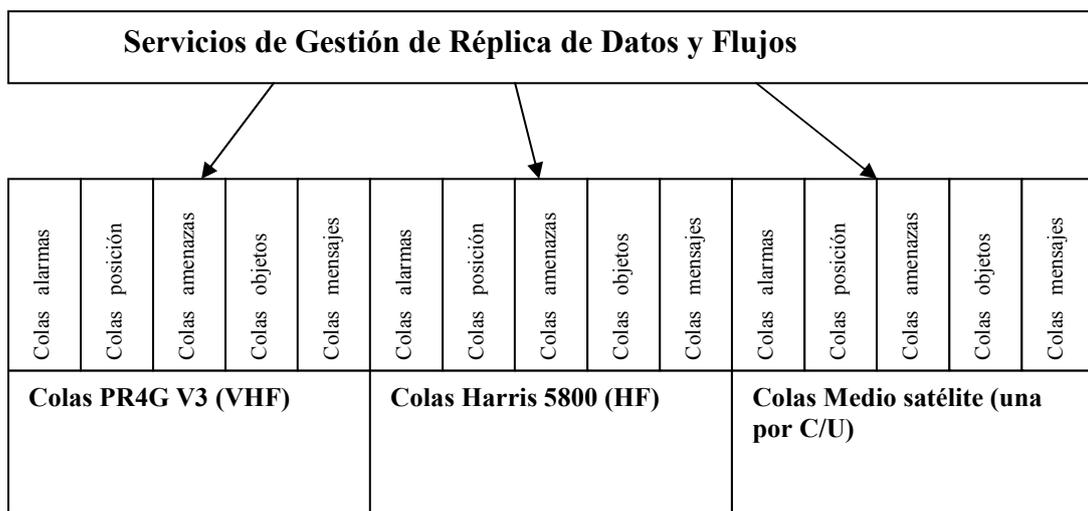


Figura 88: Capa de adaptación de flujos

Como se puede observar el core de SIMACOP detecta cuando tiene datos nuevos que entregar a la capa de comunicaciones para su envío y los asigna a distintas colas según se trate de un flujo de un tipo u otro y de un medio radio concreto. La implementación de este mecanismo recae fundamentalmente en software desarrollado por el grupo de investigación pues debía de ajustarse a parámetros muy específicos de la transmisión de los medios radio como las temporizaciones y se concluyó que esta era la mejor manera para tener un mayor control. En cualquier caso, mecanismos como wintc [WTC], equivalente en Windows a los traffic shapers de Linux, también se utilizan como complemento para reforzar las políticas de colas.

Capítulo 5

Validación de arquitecturas de mando y control para pequeñas unidades

5. Validación de la arquitectura

5.1 Introducción

En el presente capítulo se mostrará la descripción de las pruebas de campo realizadas al sistema SIMACOP, así como los resultados obtenidos por SIMACOP en las evaluaciones de las mismas. Como ya se destacó en el capítulo precedente, SIMACOP es el acrónimo de “Sistema de MAndo y COntrol para Pequeñas unidades” y se corresponde a la implementación, en sus distintas versiones, de la arquitectura para su validación.

Durante las pruebas que se van a describir en este capítulo, se demostrará la viabilidad, buen funcionamiento y aceptación-aprobación por parte de usuarios finales, de los diseños obtenidos como fruto de la investigación realizada en la presente tesis doctoral y que el sistema SIMACOP lleva incorporados e integrados.

En el presente apartado se van a describir las pruebas de campo, demostradores y pruebas oficiales de certificación y validación, por parte de organismos tanto nacionales como internacionales, en los que ha participado y ha sido sometido el sistema SIMACOP. Las pruebas y demostradores que se van a describir en este apartado son los siguientes:

- Demostración del sistema SIMACOP en el ejercicio Coalition Warrior Interoperability Demonstration (CWID) nacional 2006
- pruebas y demostrador en el cuartel general de la Unidad Militar de Emergencias (UME) en Mayo de 2007. Integración con los radios SpearNet de ITT. Pruebas y sistema demostrado en CWID 2007 nacional.
- Pruebas de interoperabilidad de SIMACOP en el CWID internacional 2007 en Lillehammer, Noruega.
- Integración del sistema SIMACOP en el demostrador del proyecto europeo MARIUS. Descripción de la demostración llevada a cabo en Julio de 2007
- Integración del sistema SIMACOP en el demostrador del proyecto europeo CITRINE. Descripción de la demostración llevada a cabo en Mayo de 2008
- Pruebas de interoperabilidad de SIMACOP en el CWID internacional 2008 en Lillehammer, Noruega.
- Evaluación del sistema SIMACOP por parte de la JCIS y AT del ET en el regimiento de transmisiones tácticas 21 (RETAC-21) en Abril de 2008 y Julio de 2008.
- Evaluación del sistema SIMACOP por parte del Regimiento de Caballería Ligera 8 (RCL-8) Lusitania en el campo de maniobras de Chinchilla en Mayo de 2008.
- Demostración del sistema SIMACOP en las Escuelas Prácticas CIS (EPCIS) del Ejército de Tierra 2008 en el regimiento de transmisiones tácticas 21 (RETAC-21).
- Interconexión del sistema SIMACOP con el UAV SIVA de fabricación nacional. Pruebas llevadas a cabo en Noviembre y Diciembre de 2008 en Marines, Valencia y León.

Como se ha visto en el capítulo anterior el sistema se ha desarrollado en el marco de diversos proyectos de investigación europeos y nacionales así como en convenios con empresas punteras en el ámbito del mando y control. Por otra parte las evaluaciones las han llevado a cabo organismos de certificación nacionales, como JCIS y AT, e internacionales como la

agencia NC3A, perteneciente a OTAN. La satisfactoria evaluación del sistema hacia un producto maduro y la superación de las pruebas de certificación ha conducido a su adquisición por parte del Ejército de Tierra, y de forma directa y evidente valida la arquitectura propuesta.

5.2 Pruebas llevadas a cabo

5.2.1 Demostración del sistema SIMACOP en el ejercicio CWID nacional 2006.

En Mayo de 2006 se llevó a cabo la demostración del sistema desembarcado versión SBC y con tecnología de red 802.11a/g y sensores de GPS, vídeo de alta calidad y biosensores, en la base “General Almirante” de Marines, Valencia. Dicha demostración estaba enmarcada en las pruebas CWID 06 y los evaluadores fueron personal del regimiento de transmisiones así como oficiales de los regimientos próximos de artillería y caballería. En la siguiente figura se pueden apreciar los diversos elementos constituyentes de dicha demostración:



Figura 89: Elementos integrantes del demostrador

A continuación se verán en detalle los diversos elementos mostrados. Sin embargo, en la figura anterior se puede observar: i) en la esquina superior izquierda un vehículo de transmisiones Rioja, con las antenas de comunicaciones, ii) en la parte superior central, el mismo vehículo de comunicaciones con un detalle del hardware de red que lleva incorporado, iii) esquina superior derecha, puesto de mando avanzado de SIMACOP, iv) izquierda parte central, soldados portando los SBC, cámaras y equipación de bio sensores, v) parte central inferior y parte centro derecha, puestos de mando retrasado y de pelotón simulado de SIMACOP, vi) vista del vehículo de comunicaciones al final de la explanada, vii) detalle de la antena parabólica.

Los componentes de la arquitectura desplegada son los siguientes:

- Un nodo de segundo nivel (Secciones) con un puente WIFI para conectar con los dos nodos de primer nivel con el objeto de replicar los datos actualizados en el interfaz común de datos y tener una COP más amplia.

- Dos nodos de primer nivel (Sección/Pelotones), con sus propios puntos de acceso WIFI conectados con sus patrullas y un puente WIFI para conectar los dos nodos con el objeto de replicar los datos actualizados en el interfaz común de datos.
- Una patrulla real compuesta por dos soldados con su completo equipamiento (SBC con enlace WIFI, GPS, video cámara en el casco, sensores biométricos y un tablet PC para el jefe de la patrulla.
- El resto de los elementos de la demostración son simulados.

.En la demostración se intentaron probar y validar por parte de los usuarios finales conceptos en boga en la investigación en mando y control, en particular el concepto de la autosincronización. Para ello se probaron las dos configuraciones que se pueden ver en las dos siguientes figuras, modo autosincronizado y modo jerárquico.

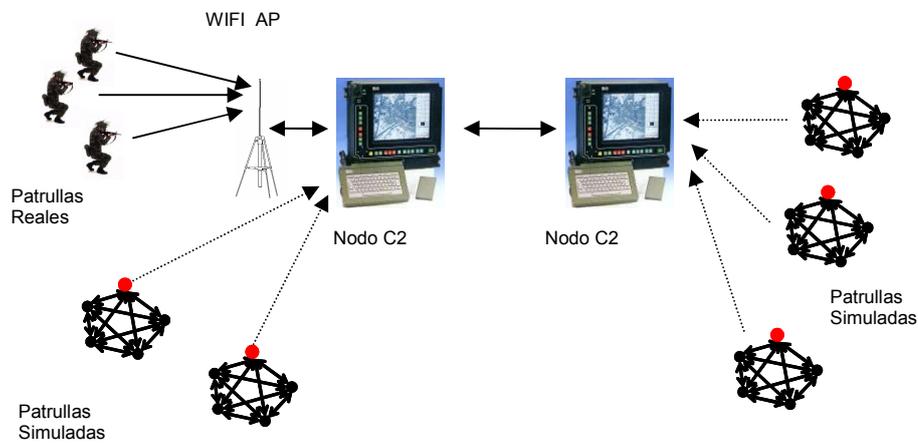


Figura 90: Esquema de la demostración MODO AUTOSINCRONIZADO

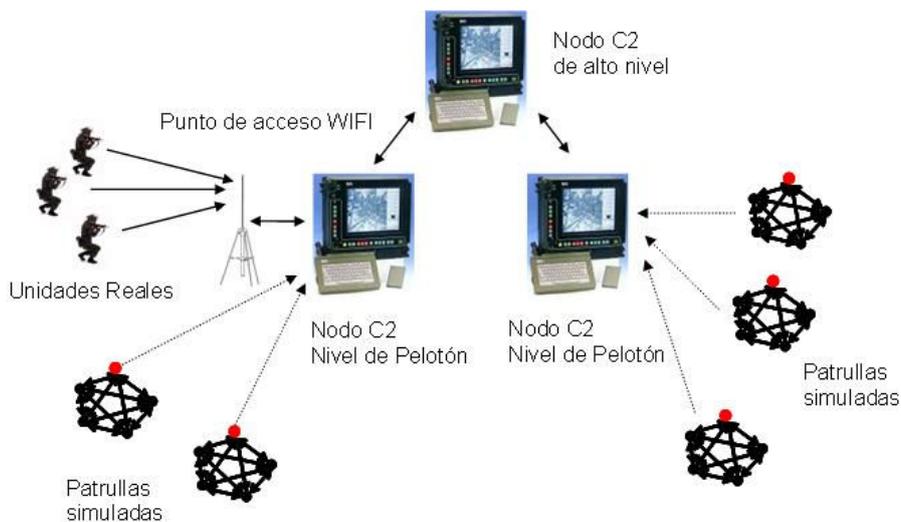


Figura 91: Esquema de la demostración MODO JERARQUICO

En la figura 92 podemos ver la patrulla compuesta por las dos unidades de tropa del regimiento de transmisiones 21, con todo el equipamiento descrito anteriormente.



Figura 92: Equipamiento de unidad individual

En la figura 93 podemos ver un vehículo Rioja especialmente dedicado a las comunicaciones. En este vehículo se han instalado las antenas sectoriales (Ver número 1 en la figura 93), que cubrirán el enlace WIFI entre las unidades de tropa y el nodo C2 de SIMACOP de nivel de Sección/Pelotones (Ver número 3 en la figura 93), que las monitoriza y que replica la información que recibe de ellas a los demás nodos de la red.

Esta réplica de información hacia los demás nodos de la red se realiza a través de la antena parabólica (Ver número 2 en la figura 93) también instalada en el vehículo y que cubre el enlace WIFI entre el nodo C2 de nivel de Sección/Pelotones y el nodo C2 de nivel de secciones.



Figura 93: Vehículo de comunicaciones Rioja

En la figura 94 podemos ver el nodo de nivel de Secciones (Ordenador de la izquierda) y el segundo nodo de nivel de Sección/Pelotones (Ordenador de la derecha), que se encuentra dentro del cuartel de la brigada de transmisiones, ya que la información que este segundo nodo de nivel de Sección/Pelotones aporta a la demostración es simulada. El nodo de nivel de secciones hace las veces de puesto de mando retrasado donde se tomarían las decisiones para dirigir la operación.

Como puede verse en la figura, ambos ordenadores tienen en sus interfaces la misma información replicada desde el nodo de nivel de Sección/Pelotones avanzado y que les indica tanto la posición y estado de las unidades de tropa, como el video tomado por estas unidades.



Figura 94: Puesto de mando y control de nivel de secciones (izquierda) y segundo nivel de sección/pelotones (derecha).

Como ya se ha mencionado anteriormente en este trabajo, la réplica de posiciones y de datos biométricos se llevaba a cabo mediante las herramientas de réplica en tiempo real que incorporan las bases de datos MySQL mientras que la distribución de vídeo se llevaba a cabo mediante una solución ad-hoc basada en multicast.

Un detalle de la transmisión de video en directo desde el nodo C2 avanzado lo podemos ver en la figura 95, donde se observa que mientras en el nodo de nivel superior (Ordenador de la izquierda), se siguen viendo las posiciones de las unidades de tropa, en el segundo nodo de nivel Sección/Pelotones (Ordenador de la derecha) se puede ver el video y las posiciones de las unidades de tropa (esquina inferior derecha del PC de la derecha) replicadas desde el nodo de nivel de Sección/Pelotones avanzado.

Cabe destacar, como puede verse en la figura 95, la alta calidad de la imagen del video que proporciona el sistema SIMACOP pese al poco ancho de banda que consume su streaming de video, esto se debe a su óptimo algoritmo de codificación.



Figura 95: Vídeo de alta calidad en los puestos de mando

Como puede verse por las imágenes tomadas durante el transcurso de la demostración y por la evaluación a la que se sometió al sistema al terminar la prueba, la cual se mostrará en los apartados siguientes de la presente tesis doctoral, la demostración fue un éxito, funcionando perfectamente todo el sistema.

La evaluación del sistema se realizó mediante un cuestionario, que fue rellenado por observadores militares pertenecientes a distintas armas del ejército de tierra, que asistieron al desarrollo de la demostración.

De las quince preguntas efectuadas a los observadores de la prueba del sistema SIMACOP y calificadas de 1 a 5, de peor a mejor, se exponen los resultados de la evaluación:

- Calidad percibida del vídeo en el puesto de mando 4.5
- Calidad en la distinción de obstáculos y características del terreno 4.6
- Nivel de confianza del posicionamiento de los efectivos 4
- Valoración de la percepción de la situación desde el PC. 4
- Valoración de la COP para la toma de decisiones 4.1
- Valoración como ayuda a la toma de decisiones 4.5
- Facilidad de utilización de la aplicación. 4.5
- Valoración de la utilidad del tablet PC al Jefe de Pon. 4.2
- Valoración de la información del estado vital de los efectivos 3.3
- Valoración de la ergonomía para el soldado 3.3
- Operatividad del sistema para el Jefe de Pon. 4
- Operatividad del sistema para el PC. 4.3
- Valoración del funcionamiento de forma aislada. 4.1

- Valoración del funcionamiento autosincronizado. 4.4
- Valoración del funcionamiento jerárquico. 4.4

En la validación se destacaron los siguientes puntos, por parte de los evaluadores:

- La apreciación global de este sistema es muy buena y se ve que tiene un campo interesante a seguir desarrollando en el seguimiento y ayuda al Jefe de Pelotón y Jefe de Sección para dirigir sus efectivos.
- Destaca el GIS y la representación gráfica de obstáculos, edificios y la situación de los efectivos. Pues se abre un gran campo para la ayuda a la toma de decisiones a bajo nivel del Jefe de Sección y Pelotón para avanzar, defender y sobre todo saber si sus efectivos están vivos y dónde.
- Es sencillo de manejar con un interfaz muy intuitivo. Siendo destacable que emplee Linux como sistema operativo, pues es de libre difusión con lo que los costos de adquisición son menores y es un sistema operativo potente y fiable con una gran cantidad de librerías en el mercado a libre disposición.
- Es muy interesante la capacidad de captar vídeo, pues facilita la comprensión en el PC. de lo que está sucediendo dónde está el soldado, observatorio o vehículo de exploración. Sobre todo de cara a la inteligencia militar y la 2ª sección que puede valorar mejor la situación en la faceta del enemigo.

Como puntos débiles destacaron, referido al prototipo demostrado:

- El soporte de comunicaciones no es el adecuado, la prueba se hizo con un enlace de Wifi, dando limitaciones en alcance y coberturas. Sería recomendable tomar dos opciones:
 - Para mantener la capacidad de captar vídeo habría utilizar WiMAX.
 - Con objeto de mejorar los alcances se debería pasar la información de posición, vital, la de designación de enemigo, etc. toda menos el vídeo, que requiere un ancho de banda mayor que los datos simples, por vía radio VHF.

Es de destacar que estas observaciones ya han sido subsanadas en siguientes versiones desarrolladas del sistema, como ya se ha indicado.

5.2.2 pruebas UME 2007 y Academia de Infantería de Toledo de la versión basada en radios personales MESH.

En estas pruebas, llevadas a cabo en Mayo y Junio de 2007, el software de la solución embarcada que antes estaba en un SBC se integró en las radios personales Spearnet de ITT. Por otra parte también se probaron los puestos de mando de SIMACOP de sección, compañía y batallón. La descripción técnica de la arquitectura implementada se puede ver en el punto correspondiente del capítulo 4.

En Mayo de 2007 se llevó a cabo una demostración completa del sistema en el cuartel general de la Unidad Militar de Emergencias situado en la base aérea de Torrejón de Ardoz, Madrid. La configuración de la demostración se puede ver en la siguiente figura:

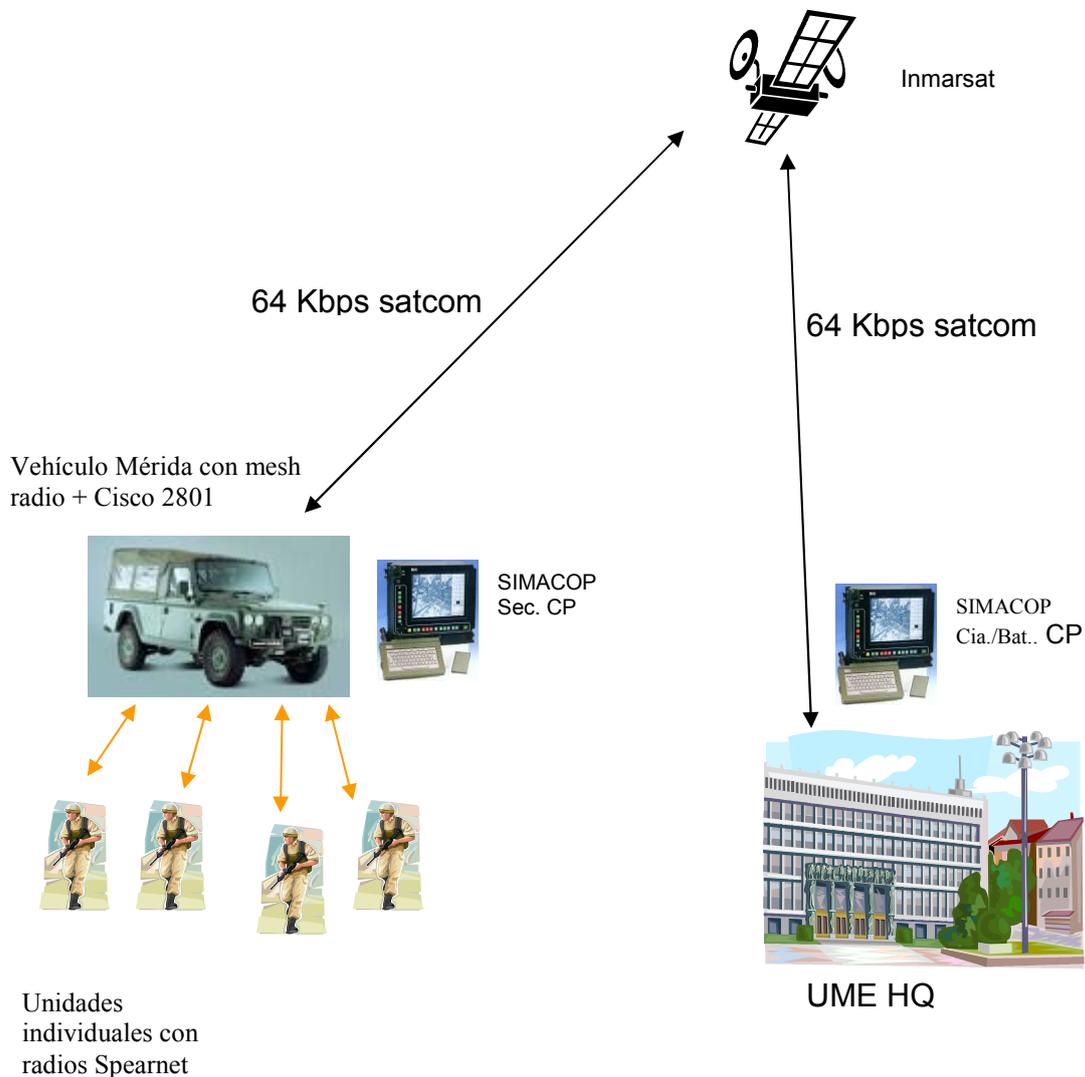


Figura 96: Esquema de las pruebas llevadas a cabo en la UME

Como se puede observar en la figura anterior se dispuso un pelotón de cuatro unidades individuales equipadas con las radios mesh Spearnet de ITT, cámara IP y el software de la UPV que se ejecutaba dentro de las radios. Las mismas formaban una

mallla autónoma que permitía la transferencia de GPS, vídeo y voz entre las distintas unidades. Como quinto elemento de la mallla se encontraba un puesto de mando avanzado(Sección) de SIMACOP que recogía toda esa información, la representaba en su display (unidades ubicadas en la cartografía y vídeo en tiempo real) y la envía por un enlace satélite Inmarsat al puesto de mando retrasado (Compañía/Batallón) de SIMACOP ubicado en el cuartel general de la UME, en concreto en el denominado JOC (Joint Operations Centre) que se describe en figuras siguientes. En todo momento, en ambos puestos de mando se disponía de vídeo en tiempo real de cada una de las unidades y de su posición en un GIS, así como de comunicaciones vocales.



Figura 97: Aspecto del HQ de la UME, denominado JOC, con la aplicación SIMACOP en funcionamiento

En la figura anterior se observa el video-wall del JOCy la aplicación SIMACOP ejecutándose en la parte central. En la siguiente se puede ver un momento de la demostración cuando una de las unidades individuales mira hacia otra y su cámara, en perspectiva subjetiva envía el vídeo en tiempo real. En la esquina inferior derecha se observan las posiciones de las distintas unidades en el mapa.



Figura 98: Aplicación SIMACOP mostrando la posición y el vídeo en vivo



Figura 99: Aplicación SIMACOP junto con otras en el JOC

En la figura anterior se puede observar a una unidad individual acercándose al edificio de headquarters de la UME. Mientras que en la siguiente figura se detallan los componentes del sistema. En la parte izquierda se puede ver la cámara IP, ubicada sobre el casco y parte del sistema de audio, con auriculares sin pulso de aire sino con transmisión del sonido por vibración sobre los huesos al estimular la cóclea. En la figura de la derecha se puede ver la radio Spearnet con antena adjuntada a un chaleco y con salidas para los auriculares y la cámara IP. En la figura 101 se observa el vehículo de transmisiones Mérida, donde estaba ubicado el puesto de mando avanzado de SIMACOP y donde se establecía el enlace satélite con el puesto de mando retrasado.



Figura 100: Sistema completo con cámara y radio Spearnet



Figura 101: Vehículo de comunicaciones Mérida con enlace satélite

El sistema (tanto la radio personal, como el software de posicionamiento y streaming de vídeo, así como los planificadores de tareas que se incluían en la radio, todo ello desarrollado por la UPV en el presente proyecto de investigación junto con los puestos de mando y control) fue calificado como muy válido por los usuarios finales, la Unidad Militar de Emergencias. Tanto es así que recibió muy buena puntuación en el concurso de adquisición de radios personales que tenía en marcha la UME. Hay que destacar que en Junio de 2007 se llevaron a cabo pruebas muy similares en la academia de infantería de Toledo y que condujeron a la adquisición del sistema, en concreto un número determinado de radios, por parte del programa ‘combatiente del futuro’ del ministerio de defensa español.

5.2.3 Pruebas CWID Internacional 2007

Estas pruebas son organizadas por la OTAN todos los años para evaluar los niveles de interoperabilidad de los distintos sistemas nacionales en cada una de las áreas de sistemas CIS. El sistema SIMACOP se enmarcó en las pruebas de interoperabilidad de sistemas de seguimiento de fuerzas propias auspiciadas por el NATO Command and Control Consultation Agency (NC3A). En dichas pruebas el sistema validó su nivel de interoperabilidad con otros sistemas FFT por medio del protocolo NFFI [NFFI1] [NFFI2] [NFFI3] en sus perfiles IP1 e IP2 y algunas pruebas muy básicas con el perfil SIP3. Por otra parte se validó la pasarela SIMACOP-SIMACET (sistema de mando y control de pequeñas unidades a sistema de mando y control de nivel de batallón y superior del ET español) por medio del COE (Common Operacional Environment), como se puede ver en la siguiente figura:

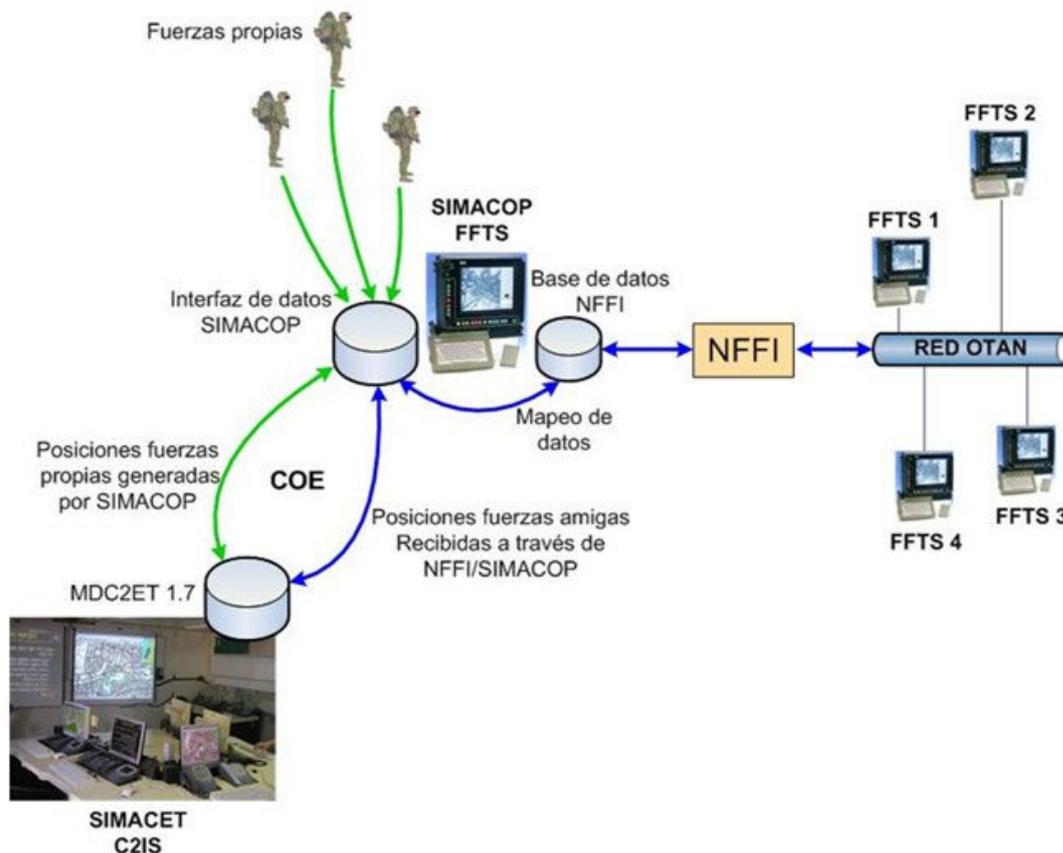


Figura 102: Interoperabilidad NFFI y conexión a SIMACET-COE

En la misma se observa el procedimiento de funcionamiento en las pruebas. El sistema SIMACOP generaba posiciones propias que intercambiaba con otros sistemas FFT por medio de NFFI y con las que alimentaba al sistema SIMACET por medio de una pasarela con el COE y el modelo de datos MDCET 1.7. Por otra parte, los tracks que se recibían de sistemas aliados eran también representados en SIMACOP y a la vez introducidos en SIMACET.

En total se llevaron a cabo 20 experimentos con sistemas de Italia (2 sistemas), Rumanía (2 sistemas), Francia (2 sistemas), OTAN y varias pruebas globales como

consumidores con sistemas de Dinamarca, Francia, Italia, OTAN, Noruega y Rumanía.

En la siguiente tabla se pueden ver los resultados de las diferentes métricas utilizadas para validar el resultado de cada prueba realizada durante la demostración internacional CWID 2007, así como el resultado final de cada una de ella

Prueba ID	MoP1	MoP2	MoP3	MoP4	MoP7	RESULTADO
403	SI	SI	SI	SI	NA	EXITO
405	SI	SI	SI	SI	NA	EXITO
409	SI	SI	SI	SI	NA	EXITO
411	SI	SI	SI	SI	NA	EXITO
460	NA	NA	NA	SI	NA	EXITO
480	SI	SI	SI	SI	NA	EXITO
482	SI	SI	SI	SI	NA	EXITO
484	SI	SI	SI	SI	NA	EXITO
485	SI	SI	SI	SI	NA	EXITO
531	SI	SI	SI	SI	NA	EXITO
532	SI	SI	SI	SI	NA	EXITO
539	SI	SI	SI	SI	NA	EXITO
640	SI	SI	SI	SI	NA	EXITO
1512	SI	SI	SI	SI	NA	EXITO
1513	SI	SI	SI	SI	NA	EXITO
1542	SI	SI	SI	SI	NA	EXITO
1549	SI	SI	SI	SI	NA	EXITO
1558	SI	SI	SI	NA	SI	EXITO
1568	SI	SI	SI	SI	NA	EXITO
1587	SI	SI	SI	SI	NA	EXITO

Tabla 21: Resumen de la evaluación de las pruebas en las que ha participado SIMACOP

La explicación de los ítems para cada una de las pruebas es la siguiente:

Código	Nombre	Significado	Valores
MoP1	Número de seguimiento correcto	Cada dato de seguimiento enviado es recibido por sus receptores	Booleano (SI/NO)
MoP2	Formato de los datos correcto	El dato de seguimiento recibido por el receptor esta en formato NFFI correcto.	Boolean (SI/NO)
MoP3	Datos semánticas correctos	La semántica de los datos de seguimiento recibidos por el receptor son los mismos que los utilizados por el transmisor, por ejemplo; posición, DTG.	Booleano (SI/NO)
MoP4	Visualización correcta de los datos	Los seguimientos son correctamente visualizados en la pantalla de situación del receptor, por ejemplo; localización, símbolos gráficos.	Booleano (SI/NO)
MoP5	Filtrado correcto de	Únicamente los datos permitidos, de	Booleano

	los datos	acuerdo a la clasificación de seguridad del experimento, se transmiten desde el transmisor hasta el receptor de los datos.	(SI/NO)
MoP6	Latencia	Medida de la latencia introducido por los dispositivos que participan en el experimento	Segundos
MoP7	Ratio de compresión	El valor numérico del tamaño de los datos originales dividido por el tamaño de los datos recibidos.	Número

Tabla 22: Lista de medidas de desarrollo o Measures of Performance (MoP)

La conclusión de las pruebas llevadas a cabo fue muy satisfactoria, recibiendo la certificación respecto al cumplimiento del estándar NFFI por parte del organismo validador, NC3A. Debido a dichos resultados positivos el sistema recibió la invitación para participar en las pruebas del año siguiente.

5.2.4 Integración del sistema SIMACOP en el demostrador del proyecto europeo MARIUS

MARIUS (Mobile Autonomus Reactive Information) es un proyecto PASR (Preparatory Actions Security Research, PASR-107900) del sexto programa marco de proyectos de investigación de la Unión Europea. En dicho proyecto participaron empresas como EADS, Thales Research, British Aerospace y Selex, entre otros. El grupo de investigación de Sistemas de Tiempo Real Distribuido participó en dicho proyecto aportando una versión modificada del sistema de mando y control SIMACOP. La idea principal de proyecto MARIUS era el desarrollar y validar con una demostración realista, un sistema de mando y control aerotransportado de rápido despliegue (menos de una hora desde que produce la emergencia) que incorporase sensores de diversa índole, sistemas de ayuda a la decisión y UAV. La arquitectura básica del sistema se puede ver en la siguiente figura:

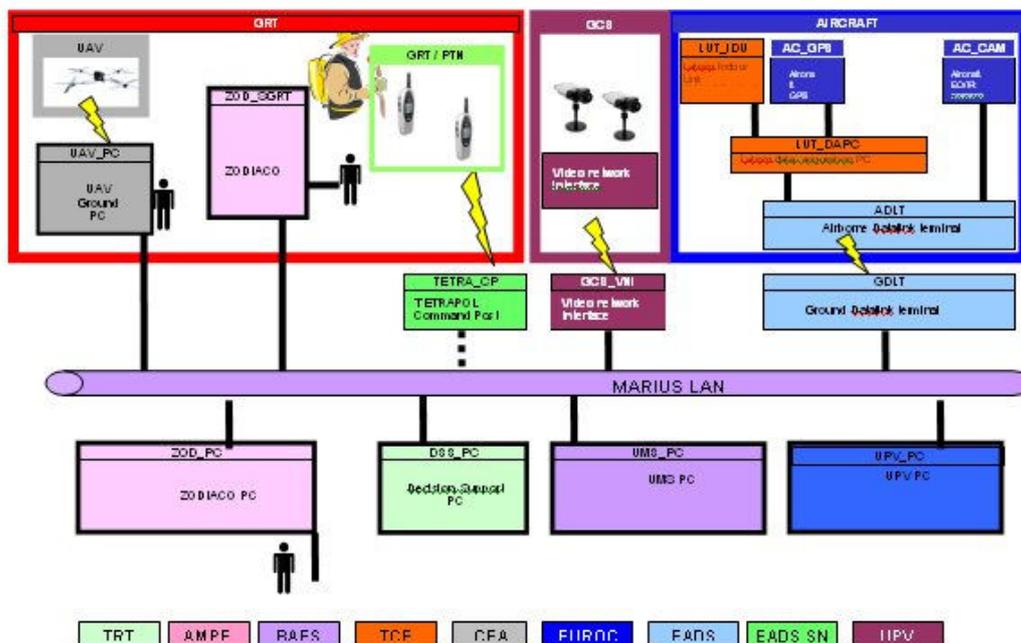


Figura 103: Arquitectura general del proyecto MARIUS

El sistema se componía de un sistema de mando y control, que se subdividía en varias consolas de representación y control, entre ellas la de la UPV, que eran transportadas en un shelter de tamaño reducido al escenario de operaciones por parte de un helicóptero. Por otra parte, por medios terrestres se transportaba a la zona donde se había producido la emergencia: un UAV y su sistema de control tierra, una infraestructura de comunicaciones TETRAPOL y un sistema de cámaras individuales y sensores de posición facilitado por la UPV (SIMACOP). Todo ello se conectaba vía wireless a los puestos de mando para alimentarlos con la información sensorizada. En el helicóptero en vuelo se encontraba un sistema de la empresa Thales, Lutece, que permitía detectar heridos entre los escombros o aludes por medio de las señales emitidas por sus teléfonos móviles. Toda la información recibida era evaluada por los responsables de la toma de decisiones en la zona para poder efectuar el mando. Con posterioridad, una herramienta de ayuda a la toma de decisiones (DSS) les permitía determinar que heridos eran evacuados a qué hospitales.

SIMACOP fue introducido en el sistema como su versión desmontada con SBC. A cada bombero en la zona de operaciones se le facilitó un sistema de forma que, tanto el video en perspectiva subjetiva como su posición se inyectaban en dos sistemas de mando y control, el desarrollado por la empresa British Aerospace, denominado UMS y SIMACOP. La particularidad de esta versión es que el códec de video fue modificado para que en el mismo stream MPEG viajase tanto el propio video como la información de posición para conseguir una sincronización total entre ambos flujos.

El sistema fue validado en una demostración final que se llevó a cabo en Valencia en Julio de 2007. Dicha demostración intentaba emular un escenario catastrófico en el que dos bombas explotaban en Valencia (una en exteriores y otra en un subterráneo) con gran número de heridos que debían ser evacuados. Para llevar a cabo la demostración, el consorcio de bomberos de Valencia facilitó unas instalaciones de entrenamiento que dispone en el término municipal de Ribarroja, ubicadas en un antiguo polvorín y montes aledaños.

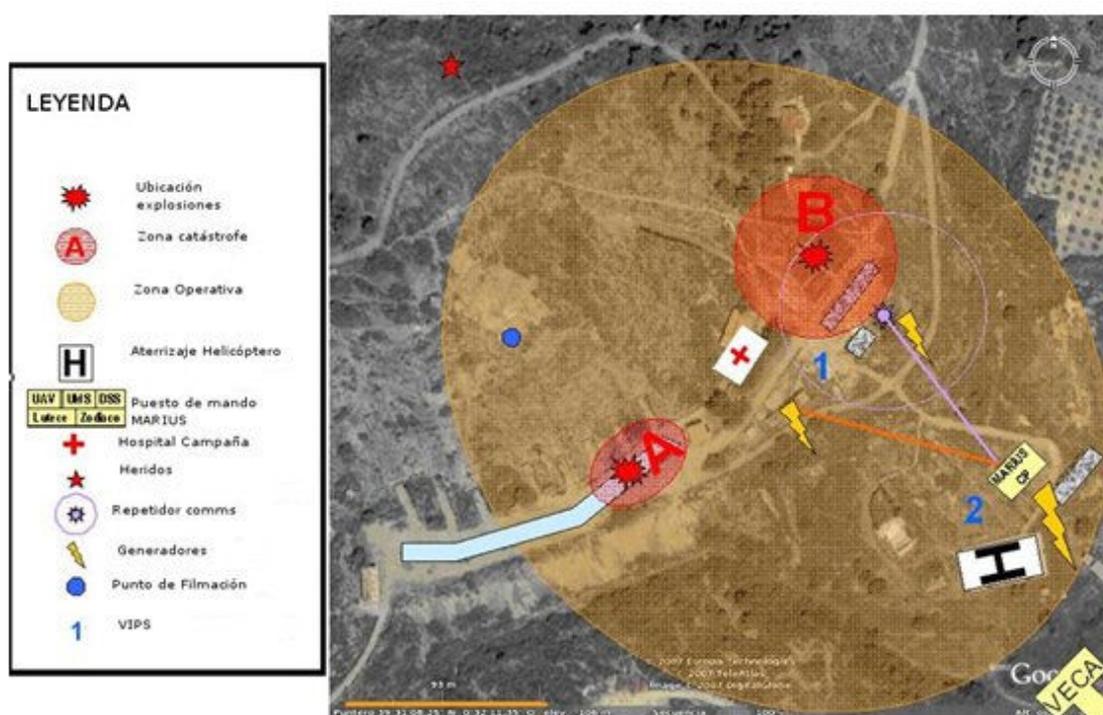


Figura 104: Escenario de pruebas

La UPV participó en dichas pruebas con el sistema SIMACOP embarcado para operativos individuales anteriormente citado, una consola de mando en la zona de puestos de mando (el enlace se estableció mediante tecnología mesh) y un puesto de mando retrasado ubicado a 1500 metros en el Vehículo de Coordinación Avanzada (VECA) del consorcio de bomberos y enlazado por un punto a punto wifi con parábolas de 23 dB.

En las siguientes figuras se puede observar a los operativos bomberos equipados con las cámaras y SBC.



Figura 105: Cámara en el casco ignífugo



Figura 106: Detalle del SBC en el equipamiento de los bomberos



Figura 107: Consolas de Puesto de mando una vez desembarcadas en la ubicación de campaña



Figura 108: Escenario de la demostración. En la misma se pueden ver los siguientes elementos: 1) helicóptero en zona de aterrizaje; 2) edificio donde se desembarcaron y ubicaron las consolas del puesto de mando de MARIUS; 3) zona donde se produjeron las explosiones principales; 4) Ubicación del vehículo VECA.



Figura 109: Helicóptero con sistema MARIUS aerotransportado



Figura 110: UAV con cámara para la inspección de túneles



Figura 111: Exteriores vehículo VECA



Figura 112: Interior vehículo VECA

El proyecto fue valorado muy positivamente tanto por los responsables de agencias de seguridad presentes en la demostración (protección civil, UME, etc.) como por los usuarios finales del proyecto (consorcio de bomberos de Valencia) así como por el officer de la Unión Europea que propuso una inmediata segunda parte y ampliación del mismo.

5.2.5 Pruebas JCISyAT Marines Abril 2008

Durante la primera quincena del mes de Abril de 2008, la JCISAT (Jefatura CIS y Atención Técnica) del Ejército de Tierra decidió llevar a cabo una serie de pruebas exhaustivas sobre el sistema SIMACOP para evaluar su validez y emitir un informe de viabilidad respecto a su posterior incorporación al catálogo de sistemas de mando y control a disposición del ejército. Dichas pruebas consistieron en la evaluación del sistema de seguimiento de fuerzas propias embarcado, con todos los medios radio disponibles que se han visto en el capítulo 4, y en un escenario lo más realista posible con la utilización de hasta 15 vehículos Aníbal y Mercurio donde se instalaba el sistema SIMACOP. En dichas pruebas se evaluaron todas las características del sistema descritas en puntos precedentes con cuestionario de hasta 400 ítems. El primer escenario evaluado fue el denominado ‘escenario 0’ de VHF donde determinadas vehículos carecen de sistema SIMACOP y el resto adquiere su posición GPS en remoto de sus radios. En la siguiente figurase puede observar el esquema de mallas y la configuración completa para VHF:

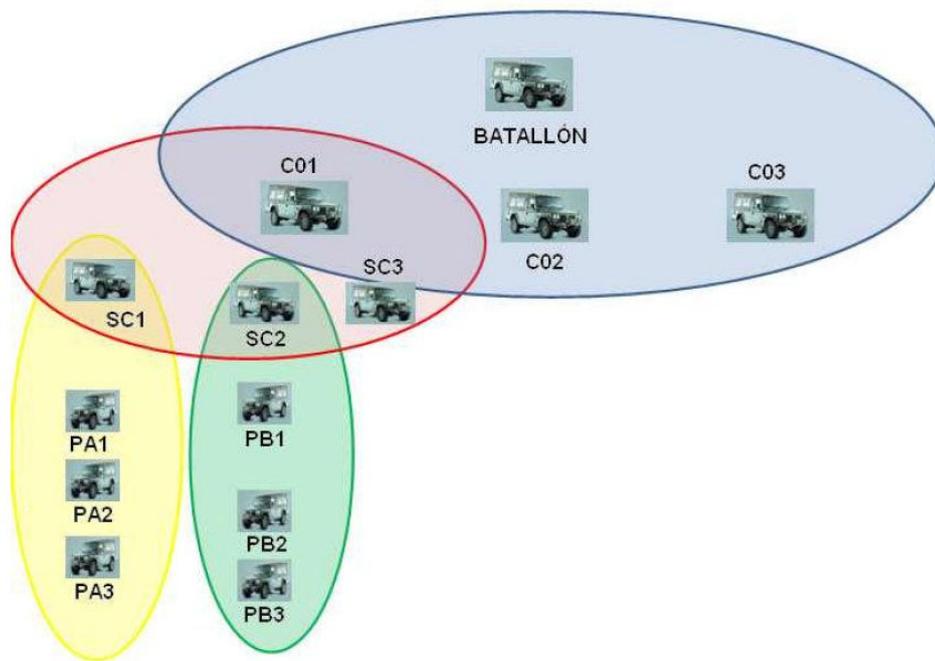


Figura 113: Esquema de mallas para la configuración completa de VHF

Hay que señalar que las mallas de VHF son dominios independientes desde el punto de vista IP ya que a nivel radio trabajan a distintas frecuencias. De esta forma no hay comunicación entre nodos de distinta malla y el sistema SIMACOP realiza el enrutamiento entre mallas a nivel de datos.

En dicho escenario se evaluaron todas y cada una de las funcionalidades del sistema y la transmisión de todos los tipos de información de cualquier nodo a otro. Debido a la naturaleza realista de las pruebas los vehículos de pelotón, sección y compañía se movieron por la base y exteriores describiendo rutas preconfiguradas. Un elemento importante era la considerable inestabilidad de las radios de VHF, que requerían reconfiguraciones periódicas, aunque luego se comprobó que esta baja de rendimiento era debida a la falta de preparación de los operarios que manejaban dichas radios y la falta de software adecuada para gestionarlas. Una vez subsanados estos problemas su rendimiento fue el adecuado.

Otro escenario que se probó a continuación fue el denominado escenario de HF, donde también se comprobaron todas las funcionalidades del sistema de manera exhaustiva, haciendo uso de radios HF. Sobre este escenario también se probaron todas y cada una de las funcionalidades del sistema. Hay que destacar las dificultades que introducen este tipo de radios a la hora de transmitir y recibir paquetes IP, como ya se ha visto en los capítulos previos de estado del arte y de especificación de la arquitectura. Problemas como la característica simplex del canal, la elevada sensibilidad a las condiciones atmosféricas o el elevado retardo introducido y escaso ancho de banda se ven compensados por las elevadas distancias que pueden lograrse.

El último escenario individual que se probó fue el denominado escenario satélite. En la siguiente figura se puede ver un esquema de dicha configuración. Se probó un punto a punto, desde un nodo de batallón a otro de compañía, para las tres tecnologías existentes, Inmarsat, Iridim y Thuraya.

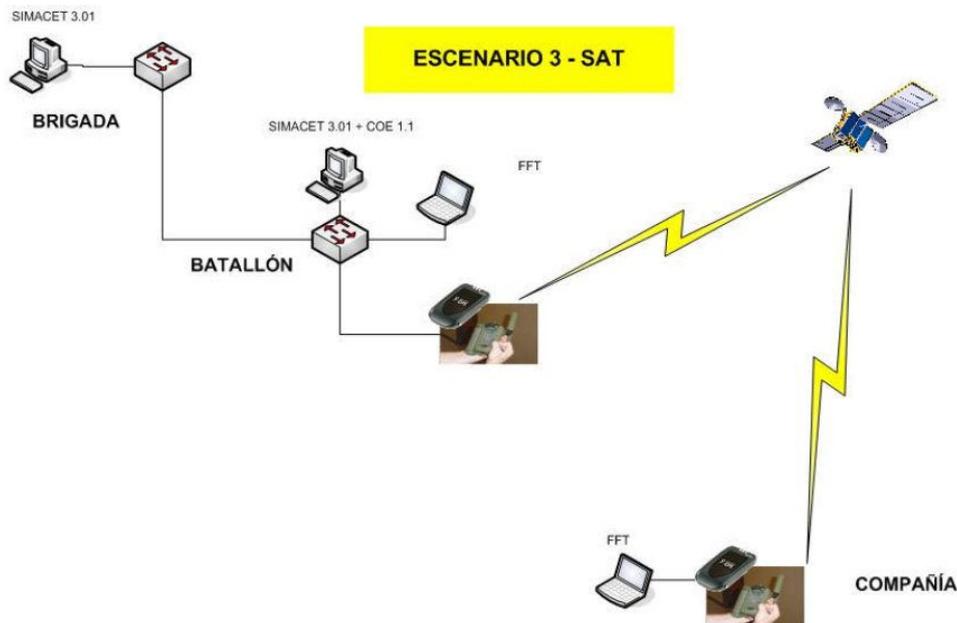


Figura 114: Escenario satélite completo

La conexión que dan los tres sistemas citados acaba consistiendo en entregar al nodo una dirección IP privada (impredicable) con visibilidad a Internet. Debido a la necesidad de identificar unívocamente los nodos existentes mediante la dirección IP, por estructura del sistema SIMACOP, y por cuestiones de seguridad, se decidió la utilización de redes privadas virtuales con cifrado para las conexiones de este tipo. Los resultados en estas pruebas fueron los mejores debido al elevado ancho de banda que entregan estas interfaces (desde 200-300 Kbps en el caso de Inmarsat hasta 64 Kbps para Thuraya) permitiéndose la actualización de posiciones y otros datos en un lapso de segundos. El principal problema encontrado fue la inestabilidad en recepción de los terminales Iridium y Thuraya que provocaba la caída de enlaces con frecuencia. Este problema no se producía con los terminales Inmarsat.

Finalmente, una vez probados de manera parcial y aislada los escenarios para cada medio de transmisión se planteó la prueba de un escenario completo con todos los medios a utilizar, para ser lo más realista posible. Sobre dicho escenario también se probaron todos los servicios y funcionalidades del sistema SIMACOP.

Dicho escenario estaba compuesto por los siguientes elementos:

- Un Batallón, utilizando como medios de transmisión VHF, HF y satélite (Inmarsat).
- Tres Compañías:
 - Compañía VHF, compuesta por
 - 2 Secciones con dos pelotones cada uno.
 - Una sección sin pelotones.
 - Compañía HF.
 - Compañía Satélite (Inmarsat)

El esquema de mallas y tecnologías radio utilizadas se puede ver en la siguiente figura.

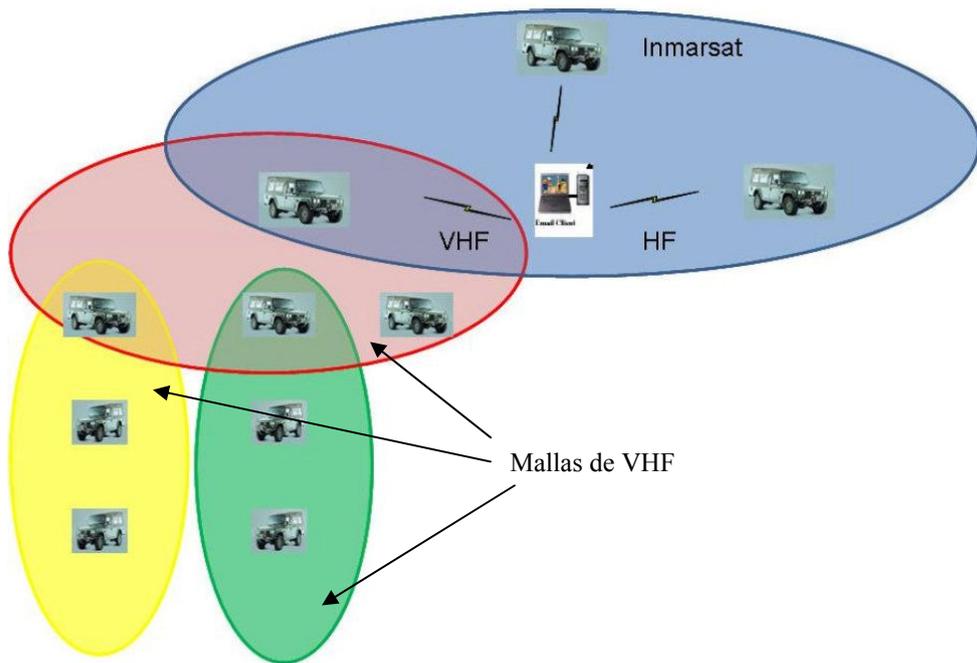


Figura 115: Escenario completo

Los resultados de la prueba del escenario completo fueron totalmente satisfactorios, permitiéndose la interconexión de nodos FFT completamente transparente mediante tecnologías de red heterogéneas y consiguiéndose desacoplar las características y problemas inherentes a cada una. En las siguientes figuras se pueden ver diversos elementos del sistema desarrollado e implementado.



Figura 116: Vehículos Aníbal con antenas para PR4G V3



Figura 117: Aplicación en videowall



Figura 118: Despliegue completo de Vehículos Aníbal implicados



Figura 119: Vehículo de comunicaciones Mercurio con antena NVIS (Near Vertical Incident Skywave) para medios radio HF

El resultado final de las pruebas fue altamente satisfactorio hasta el punto que el grupo de evaluación de JCIS recomendó la compra del sistema por parte del ET.

5.2.6 Pruebas maniobras Chinchilla Mayo 2008

En Mayo de 2008 se llevaron a cabo unas maniobras denominadas LIVEX'08 en el campo de maniobras de Chinchilla por parte del Regimiento de Caballería Ligera-8 (Lusitania) con unidades empotradas del regimiento de transmisiones tácticas 21. El grupo de investigación de Sistemas de Tiempo Real Distribuido fue invitado a dichas pruebas aportando el sistema SIMACOP para su validación por parte del personal de Caballería. Estas pruebas fueron una extensión del sistema validado en el punto anterior aplicado a unas maniobras reales y adaptado a las peculiaridades de la orgánica de un regimiento de caballería. Desde el punto de vista técnico se probaron configuraciones completas como las vistas en el punto anterior, con todos los medios existentes operativos en un mismo ORBAT.

En estas pruebas, aparte de validar el sistema en un escenario de maniobras reales se pudieron comprobar los siguientes conceptos:

- El sistema tiene la capacidad de operación por unidades muy dinámicas y móviles, como es el caso de las unidades de caballería, con poco soporte de personal especializado. En concreto se desplazaron cinco ingenieros de la UPV y personal del RT-21 pero su apoyo fue muy limitado pues se perseguía comprobar su uso, autónomo, por parte de personal 'no técnico'.
- El sistema presenta un elevado grado de usabilidad puesto que fue rápidamente asimilado y puesto en marcha por parte del personal de caballería.
- Disminución de las comunicaciones vocales. Sustitución del control de operaciones vía ordenes vocales por el envío de mensajería mediante Chat táctico.
- Fue de gran utilidad la capacidad de reconfiguración dinámica del sistema. De esta forma, si un conjunto de unidades estaba en una malla y, dada la dispersión geográfica del campo de maniobras, se perdía enlace, se establecían con facilidad las denominadas burbujas VHF interconectadas por enlaces HF, de mayor alcance.



Figura 120: Vehículos de caballería con vehículos ligeros de transmisiones empotrados.

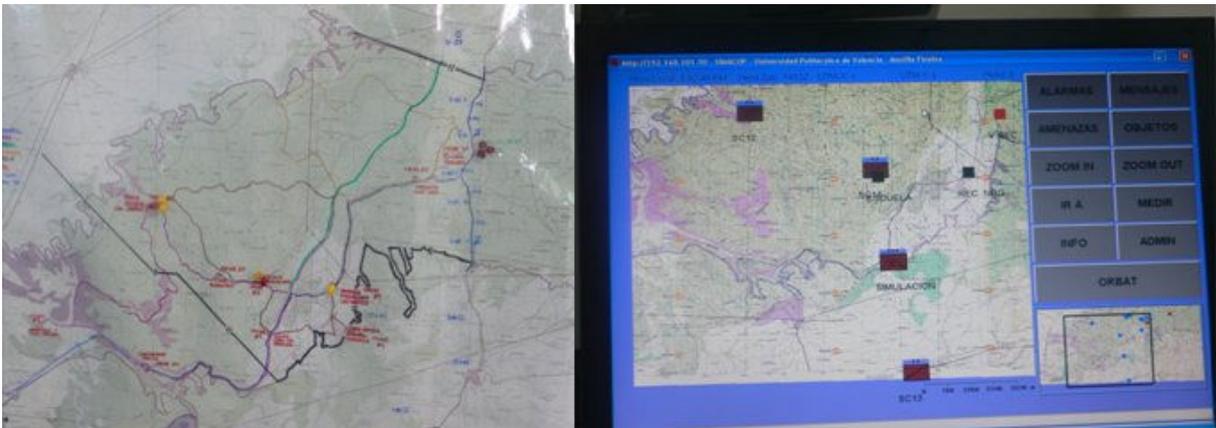


Figura 121: Sustitución del sistema de mando y control ‘de pared’ por uno CIS.

En la anterior figura se puede observar la evolución que introduce el sistema respecto al modo de funcionamiento clásico (mapa colgado en la pared y chinchetas representando a las unidades) por el sistema SIMACOP. Cabe destacar que a las 3 horas de desplegar el sistema los usuarios finales lo estaban usando con familiaridad y sustituyendo al sistema anterior. Una funcionalidad muy utilizada era la de mensajería.

El sistema fue evaluado muy positivamente por el personal de Caballería y por mandos de la IGECIS (Inspección General CIS) presentes en la prueba, destacando su utilidad y validez para el tipo de misiones que llevaban a cabo. Tras un breve periodo de adaptación y aprendizaje fue el único sistema de mando y control que utilizaron durante el desarrollo de las maniobras.

5.2.7 Proyecto Europeo CITRINE

CITRINE, “Common Intelligence and Traceability for Rescues and Identification Operations” fue un proyecto europeo del sexto programa marco dentro de la llamada de seguridad (SEC6-PR-204100).

Este proyecto, con una duración de 18 meses, tuvo como partners a EADS, Thales Security, SESM, ITTI Polonia, SELEX y Skysoft de Portugal, entre otros. Tuvo su validación en una demostración final llevada a cabo en las instalaciones de Thales Portugal en Lisboa. El objetivo del proyecto era desarrollar un sistema de mando y control más próximo a un plano estratégico que táctico para la gestión post-crisis de emergencias por parte de Organizaciones No Gubernamentales (ONG). El tempo de las operaciones en CITRINE es mucho mayor que en un sistema táctico. Por otra parte, si el papel del proyecto MARIUS era el de una intervención rápida con un ritmo elevado nada más producirse una catástrofe, el de CITRINE es el de la recuperación y la rehabilitación una vez ya han hecho su papel sistemas tipo MARIUS.

El papel de la UPV en este proyecto fue aportar el sistema SIMACOP, particularmente el motor de base de datos y repositorio, por su modelo de datos C2IEDM, y el GUI del sistema con cartografía para el seguimiento de unidades, recursos y eventos en una zona particular de catástrofe.

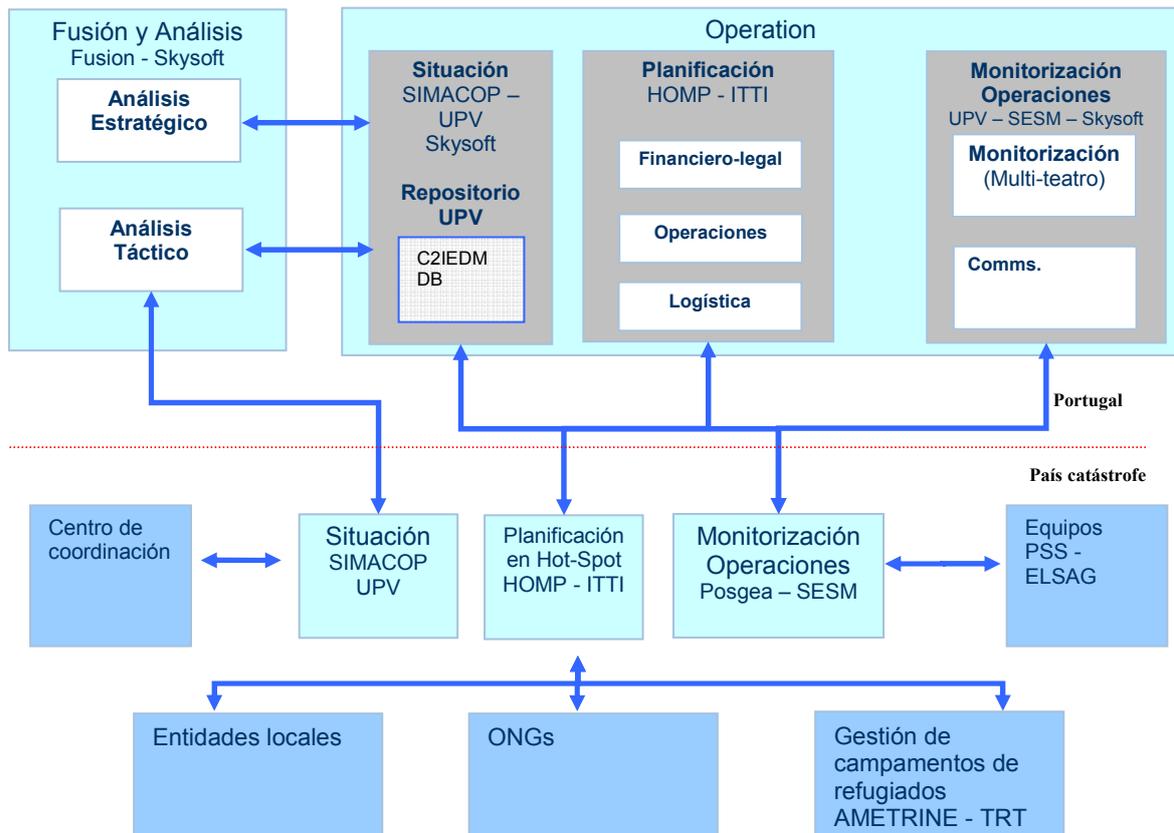


Figura 122: Arquitectura general del proyecto CITRINE

Como se puede ver en la figura anterior, los diversos partners contribuían con sus productos/sistemas a una arquitectura general en la que había una parte en los headquarters

centrales, ubicados en Portugal y otra parte en sistemas que utilizaban las ONG en el país del desastre. En los headquarters se encontraban herramientas como el repositorio y base de datos común, aportado por la UPV, el sistema de representación de la situación, aportado también por la UPV, el sistema de fusión y análisis de datos, aportado por Skysoft Portugal, el sistema de adquisición de datos de fuentes dispersas de Internet, aportado por EADS Francia, el sistema de planificación aportado por ITTI de Polonia, y el sistema de monitorización de operaciones, desarrollo conjunto de SESM, Skysoft y UPV. Todos ellos conectados en LAN. Estos sistemas se comunicaban vía satélite con la zona de catástrofe, donde había una o varias redes que interconectaban los sistemas allí presentes. En la zona de catástrofe había un sistema de planificación de ITTI, un sistema de monitorización de operaciones táctico de SESM y un DSS con funcionalidades para la gestión de campamentos de refugiados, desarrollado por Thales Research. Además, para la adquisición de información se utilizaban unas PDA ruggerizadas desarrolladas por ELSAG Datamat, de Italia.

El proyecto fue valorado muy positivamente por parte de los usuarios finales, la ONG portuguesa AMI (Asociación Médica Internacional) que consideró que un sistema de estas características era necesario para el desempeño de sus misiones de ayuda. Actualmente está en curso una propuesta para una segunda parte y extensión del proyecto dentro del séptimo programa marco de las llamadas que lanza la Unión Europea.

5.2.8 Pruebas CWID internacional, Lillehammer, Junio de 2008

En Junio de 2008 el sistema SIMACOP participó en las pruebas internacionales de CWID (Coalition Warrior Interoperability Demonstration) organizadas por la OTAN, como sistema de seguimiento de fuerzas propias. En esta ocasión el sistema participó tanto en las pruebas de interoperabilidad NFFI auspiciadas por el grupo de trabajo y desarrollo NBFSA (Nato Blue Force Situational Awareness) del NC3A (NATO Command and Control Consultation Agency), como el escenario. El escenario es un conjunto de pruebas de alto nivel donde se insertan sistemas ya probados y en uso y que consiste en una operación conjunta entre diversas naciones a la que se le hace el seguimiento mediante los sistemas comentados, evaluándose la capacidad de interoperar de los mismos.

En la siguiente figura se puede ver el esquema de pruebas que se llevaron a cabo dentro del grupo de trabajo NBFSA donde exclusivamente se probó el estándar NFFI en su perfil SIP3 con todas sus funcionalidades de SOA, filtrado geográfico, etc.

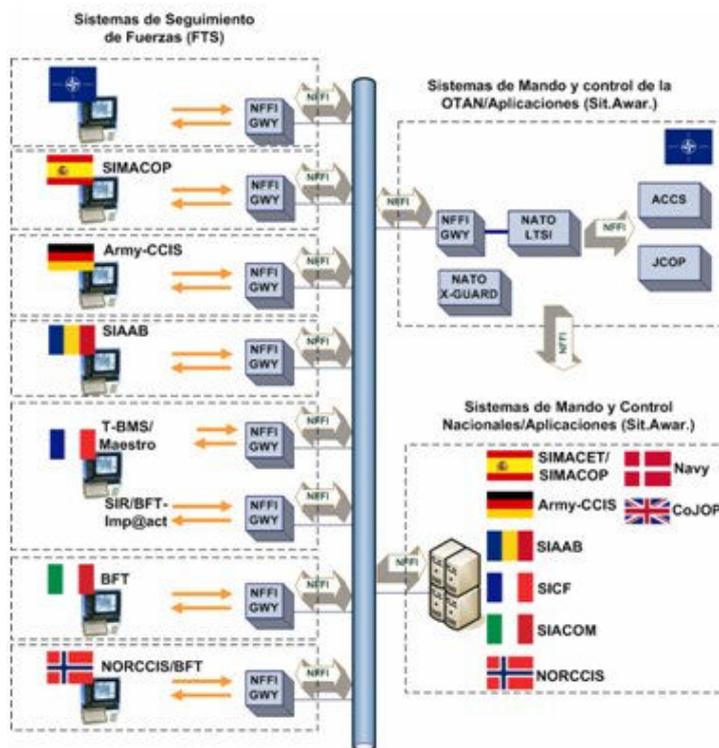


Figura 123: Pruebas BFSAN-NC3A sobre SIP3 en CWID 2008.

El escenario presentaba el siguiente ORBAT:

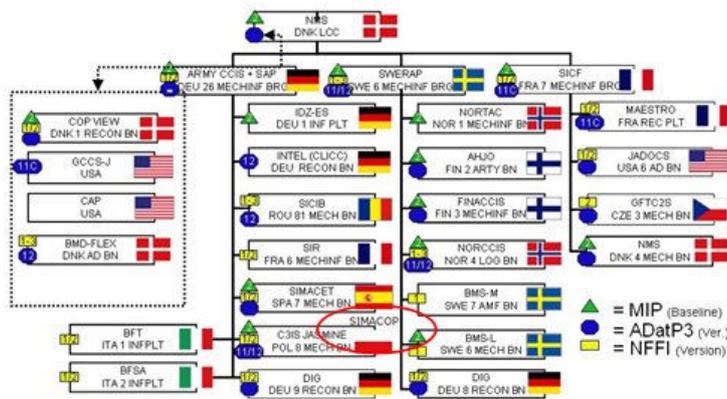


Figura 124: ORBAT del escenario CWID 2008

Y los sistemas con capacidades NFFI intervinieron dos días en el mismo, el plano de situación del cual se puede ver en la siguiente figura:

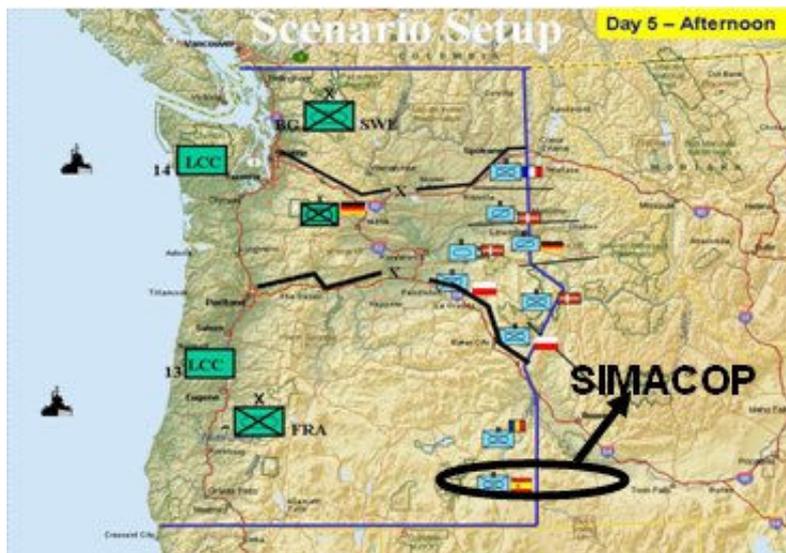


Figura 125: Operaciones del escenario CWID 2008, día 5.

Dentro de la fase de experimentos del grupo NBFSA, las pruebas que se llevaron a cabo fueron relativas al perfil SIP3 del estándar. NC3A está desarrollando SIP3 y considera cerrados los perfiles IP1 e IP2 por lo que no fomenta las pruebas de los mismos, salvo pruebas peer-to-peer.

El sistema SIMACOP llevó a cabo un gran número de experimentos. Hay que destacar que los experimentos en los que se actúa como productor fueron agrupados en uno sólo, para evitar el crecimiento exponencial en el número de pruebas dentro del grupo de trabajo. El sistema participó satisfactoriamente en las pruebas de SIP3, paradigma request-response, tanto en su perfil básico como en el de filtrado geográfico y avanzado así como en pruebas de detección de errores. Por otra parte el sistema también intervino en pruebas de LTIS, IP1

e IP2 y registro de Web Services NFFI SIP3 con UDDI. Se llevaron a cabo un total de 60 pruebas, todas ellas satisfactorias, con sistemas de España, Italia, Dinamarca, Francia, Noruega, Rumanía, Estados Unidos y OTAN.

Respecto a las pruebas del escenario hay que destacar que en el mismo sólo se utilizan productos o sistemas cerrados y en operación. Es por ello que SIP3 se considera muy experimental y en el escenario primó el uso de IP1 para la interoperabilidad entre sistemas. El papel del sistema SIMACOP fue el de mover una compañía en el escenario y las pruebas de operación simulada, recibiendo información de posiciones de otras unidades de otros países vía NFFI (IP1) y enviando su propia posición por dicho estándar. La información recibida era procesada y filtrada en SIMACOP cuyo operador determinaba qué representar en el GIS y qué se le pasaba a un nodo SIMACET vía COE presente en el escenario.

Los resultados obtenidos por el sistema SIMACOP le permitieron recibir el ‘sello de validación’ por parte del NC3A en el perfil SIP3 al probarse satisfactoriamente el sistema como productor contra más de tres consumidores en la mayor parte de los ítems. Por otra parte las pruebas del escenario fueron completamente satisfactorias.

5.2.9 Pruebas EPCIS Septiembre 2008

En las escuelas prácticas CIS (EPCIS) de 2008, llevadas a cabo en Septiembre en el regimiento de transmisiones 21, Marines, Valencia, se evaluó la configuración más compleja y ambiciosa del sistema con la inclusión de flujos de vídeo de diversas fuentes, comunicadas mediante enlaces satélite y posibilitando la evaluación práctica del concepto ‘sensor-on-the-net’ con una aproximación ‘push-and-smart-pull’. Para ello se estableció un ORBAT que incluía tres áreas de operaciones (una central en España y dos en ubicaciones remotas, cada una simulando estar en un país distinto) permitiendo que todos los nodos de la red compartieran la misma visión del teatro de operaciones y pudieran, bajo demanda y en todo momento, acceder a las fuentes de vídeo que determinadas unidades incorporaban. Para ello se integró en la arquitectura global de SIMACOP un sistema de captura, codificación y distribución de vídeo, desarrollado en el grupo de investigación dentro de otra línea de trabajo y que está optimizado para su uso en entornos muy restrictivos principalmente para enlaces con 128 Kbps a lo sumo y múltiples usuarios simultáneos con solicitudes impredecibles.

El ORBAT definido fue el siguiente:

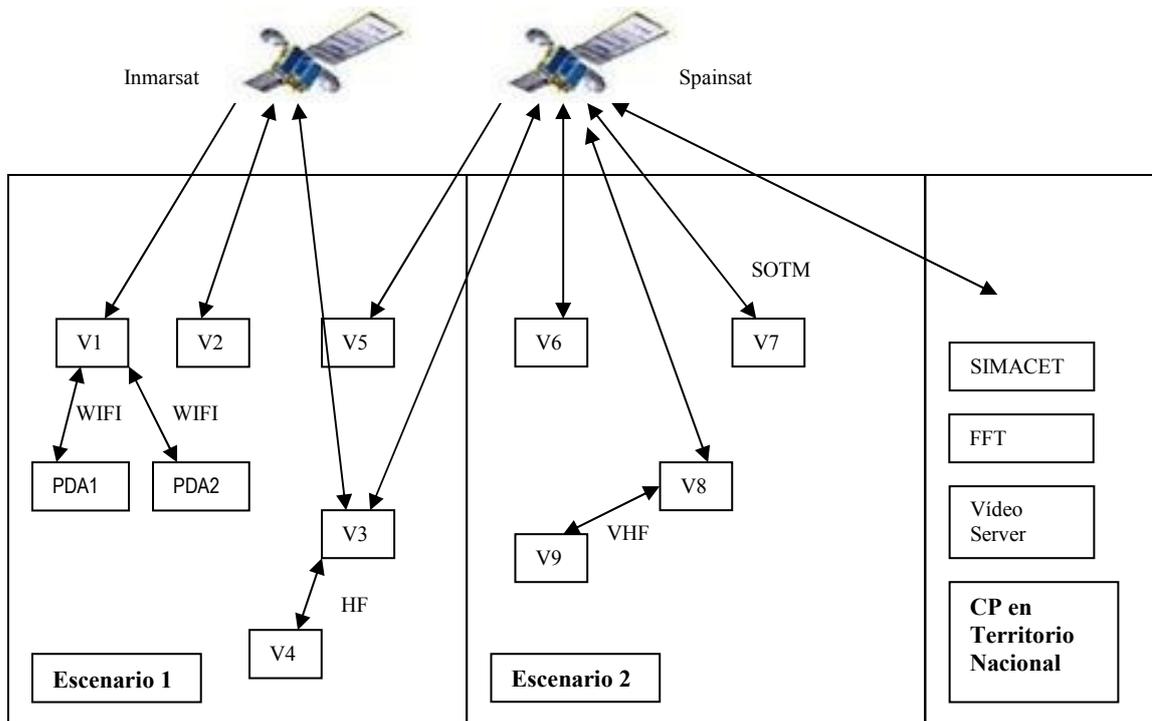


Figura 126: Arquitectura Global llevada a cabo en las EPCIS

En el esquema anterior se puede observar que existen tres áreas principales: una ubicada en territorio nacional y dos áreas remotas (escenario 1 y 2), interconectadas todas mediante enlaces satélite y en las que existe un puesto de mando principal del que dependen determinadas unidades. Éstas últimas se interconectaban entre ellas mediante diversos medios radio: VHF (PR4G v3), HF (Harris 5800) y enlaces satélite: SATCOM on the move, TLX, TL, Inmarsat y por último wifi. En estas pruebas se pudo llevar a cabo una

integración práctica de múltiples tecnologías radio y diversos flujos de datos y comprobar la viabilidad de la arquitectura propuesta en esta tesis como adecuada para gestionar un entorno de estas características.

El esquema de la arquitectura de vídeo utilizada en las pruebas fue el siguiente:

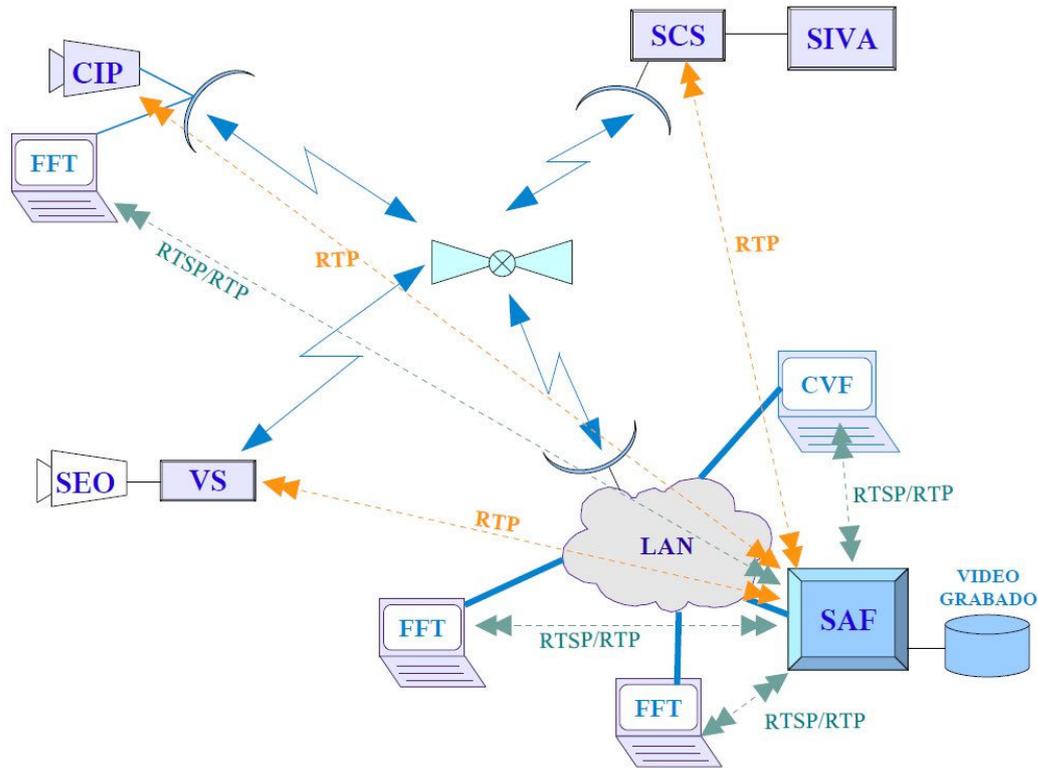


Figura 127: Arquitectura de vídeo

Como se puede observar existe, en la ubicación principal, un servidor de Almacenamiento de Flujos (SAF) que es el que interroga las distintas fuentes de vídeo (codificadores ubicados en los distintos emplazamientos: SEO, SIVA, etcétera) por medio del protocolo RTP. A su vez, los distintos consumidores de los flujos de vídeo (aplicación FFT con capacidades de reproducción de vídeo, consola de reproducción y gestión de flujos de vídeo (CVF por sus siglas en inglés)) solicitan, no a las fuentes, sino al SAF dichos flujos que les son entregados por medio de RTSP/RTP. Todos los emplazamientos están conectados por enlaces satélite.

En las siguientes figuras se pueden observar capturas de la aplicación con la inclusión de los flujos de vídeo. Como se ha visto en el capítulo 4, estas funcionalidades ya existían desde los primeros prototipos, adaptándose en este caso a la nueva arquitectura de servidores de vídeo.



Figura 128: Captura de la integración de vídeo

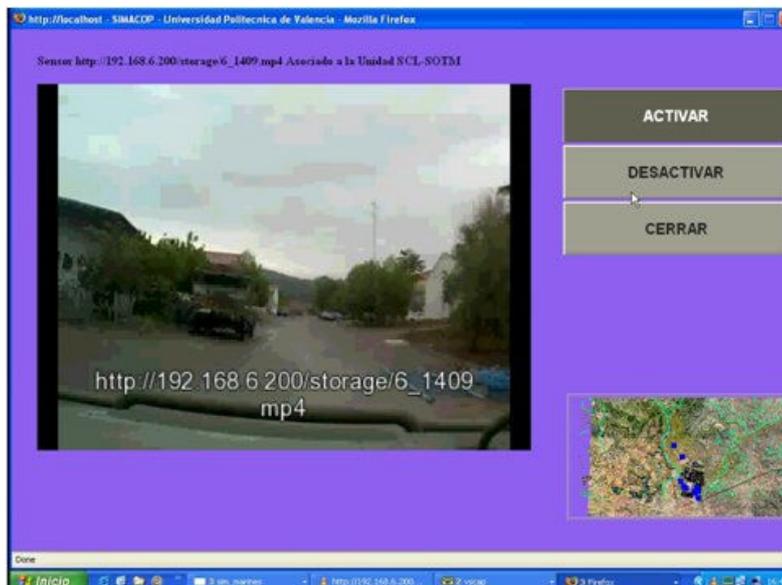


Figura 129: Captura de la integración de vídeo ampliado y con GIS sinóptico

El sistema fue evaluado muy satisfactoriamente por el personal del RT-21 durante el período de duración de las EPCIS así como por parte de las visitas destacadas, que incluyeron a oficiales de muy alta graduación como tenientes generales.

5.2.10 Integración del sistema con Unmanned aerial Vehicles (UAV).

Uno de los elementos probados en las EPCIS fue la integración con el sistema UAV SIVA. Dicha integración fue completamente satisfactoria pero quedó incompleta al no poderse realizar vuelo alguno por parte del sistema SIVA por cuestiones de permisos.

Durante los meses de Noviembre y Diciembre de 2008 se llevaron a cabo una serie de pruebas en la bases de Marines (Valencia) y en la bases de el Ferral (León) para la transmisión vía satélite y cifrado del vídeo y posiciones obtenidas del sistema UAV SIVA del ejército de tierra. Dicho sistema está normalmente radicado en la base de el Ferral por lo que se aprovecharon vuelos programados para esas fechas para llevar a cabo pruebas de integración del sistema SIMACOP con el sistema SIVA en vuelos reales. Básicamente el sistema SIVA entrega un flujo de vídeo analógico por cable coaxial y sin codificación alguna y, con una determinada periodicidad, un stream de datos con la posición. Para poder llevar a cabo un conveniente procesado se instaló en el shelter del SIVA (UAV Ground station en la figura) un codificador de vídeo que recogía dicha señal y la codificaba en MPEG añadiéndole los datos de posiciones. Esa información se enviaba por satélite a un FFT (SIMACOP) ubicado en Marines, tal y como se puede ver en la siguiente figura:

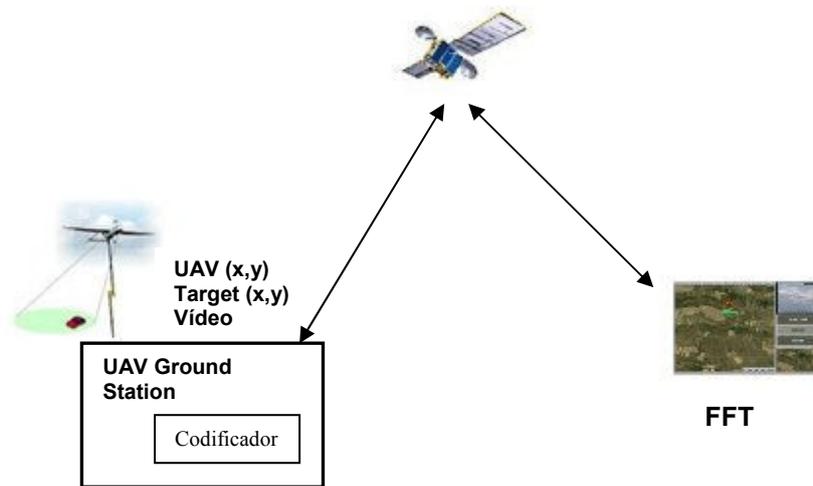


Figura 130: Esquema de la prueba con UAV

En la figura siguiente se puede ver una captura de la aplicación SIMACOP recibiendo el video del UAV SIVA y la posición del mismo así como la del objetivo que selecciona, vía el enlace satélite cifrado. En la aplicación se podía ver, en todo momento, el flujo de vídeo en vivo y las posiciones del UAV y del target sincronizadas con aquel sobre el GIS.

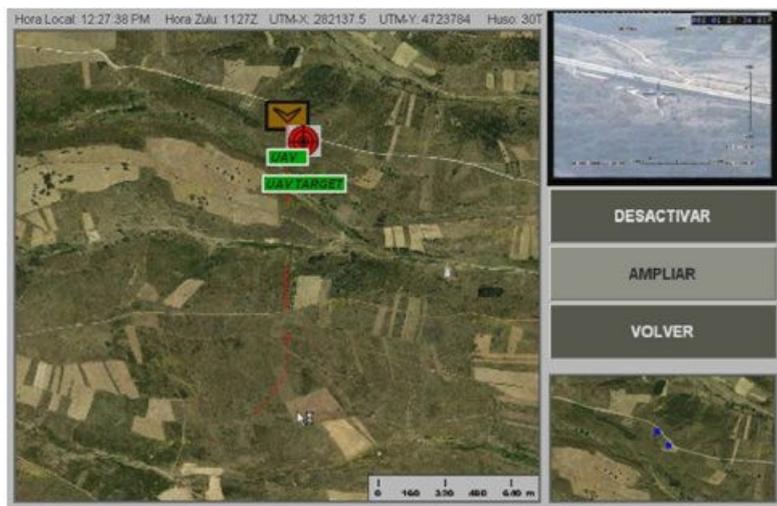


Figura 131: Captura de la aplicación con vídeo del UAV

Por otra parte, en diciembre de 2008 y enero de 2009 se llevaron a cabo toda una serie de pruebas para evaluar la arquitectura de codificación, streaming y replicación de vídeo desarrollada por el grupo de investigación de sistemas de tiempo real distribuidos e integrada en SIMACOP por parte de la JCISAT con resultado satisfactorio. Las pruebas realizadas con el SIVA y otros sensores ópticos validan el concepto de integración de sensores en la arquitectura propuesta.

5.2.11 Conclusiones de la validación

Las pruebas llevadas a cabo sobre el sistema y presentadas en puntos anteriores, debido a la jerarquía de los evaluadores en el ámbito de los sistemas de mando y control y a los resultados altamente satisfactorios obtenidos en todas ellas nos permiten concluir que el sistema ha sido validado con muy buena nota por muy diversos tests y agencias, llegándose al punto de haberse adquirido por un organismo público. Esta nos parece la validación fundamental de un sistema fruto del I+D, que haya acabado convirtiéndose en un producto final y en uso y que pueda aportar una cierta utilidad a un colectivo de usuarios.

Por otra parte, este extenso ciclo de pruebas y validaciones ha sido una ayuda inmejorable para depurar los sistemas desarrollados y recibir inputs adecuados de los usuarios finales acerca de sus necesidades. El hecho de probar el sistema siempre en escenarios realistas o, directamente reales, es una ventaja de gran valor pues sólo en los mismos se puede calibrar en el rango dinámico en el que realmente va a operar. La arquitectura creemos que ha quedado plenamente validada.

Capítulo 6

Conclusiones y trabajo futuro

6. Conclusiones y trabajo futuro

En el presente punto se detallan, de manera concisa, las principales conclusiones de la presente tesis doctoral y se apuntan las posibles líneas de continuación de la misma.

6.1 Conclusiones

Durante el transcurso de la presente tesis doctoral se han ido cumpliendo todos y cada uno de los objetivos que se habían propuesto al comienzo de esta investigación

En este apartado de conclusiones finales, se va a describir como se han ido alcanzando los objetivos prioritarios de esta investigación, fijados al comienzo de la misma, así como las lecciones que se pueden extraer de la consecución de estos objetivos y los posibles beneficios que esta investigación puede aportar a la sociedad.

Los objetivos prioritarios de la presente tesis, que se han cumplido durante el desarrollo de la misma son los siguientes:

- Se ha realizado un exhaustivo y profundo análisis del estado del arte acerca de los sistemas de mando y control, desde sus comienzos hasta las últimas propuestas. Este trabajo ha conducido a la evaluación y estudio de los distintos modelos teóricos y aproximaciones del mando y control, particularizando en los conceptos y líneas de investigación más novedosos surgidos a partir de los trabajos promovidos y auspiciados por el *Command and Control Research Programme (CCRP)* del departamento de defensa estadounidense (DoD, Department of Defense). Además se han investigado, estudiado y evaluado las distintas arquitecturas y aproximaciones existentes en el área de sistemas C4ISR de pequeña unidad, área a la que se circunscribe la presente tesis. Por otra parte, al ser los sistemas C4ISR complejos elementos que integran múltiples módulos tecnológicos, se ha llevado a cabo un profundo y extenso estado del arte de los componentes tecnológicos de los sistemas C4ISR. Para ello, se han realizado completos estados del arte en las áreas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y geolocalización, sistemas de tiempo real, sistemas de comunicaciones tácticos, sistemas de codificación y streaming de vídeo, sistemas de replicación en entornos tácticos, sistemas y protocolos de interoperabilidad y arquitecturas distribuidas orientadas a servicio.
- Con todo ese conocimiento adquirido se ha propuesto una arquitectura global para sistemas mando y control de pequeñas unidades que constituye la principal aportación científica de la presente tesis. Dicha arquitectura se ha descompuesto en una arquitectura de red y una arquitectura software como módulos constituyentes fundamentales.
- Para poder certificar la validez de la arquitectura propuesta se han diseñado, desarrollado e implementado sistemas de mando y control de pequeña unidad siguiendo los principios y especificaciones de la misma. En concreto se han desarrollado sistemas de mando y control desembarcados en tres implementaciones: basado en Single Board Computer (SBC), basado en PDA, y basada en radios personales MESH. Por otra parte se ha desarrollado una solución vehicular de

seguimiento de fuerzas propias (FFT) que es la que actualmente utiliza el Ejército de Tierra español. Se han desarrollado toda una capa de comunicaciones siguiendo la arquitectura de red propuesta de forma que todas las implementaciones desarrolladas pueden utilizar indistintamente y de manera transparente al usuario cualquiera de los principales medios radio tácticos, tanto civiles como militares. Siguiendo los principios de la arquitectura software propuesta, se han desarrollado e implementado soluciones de tiempo real para las distintas soluciones llevadas a cabo. Debido a las limitaciones de los entornos tácticos, se han desarrollado esquemas de réplica que permitan una eficiente diseminación de la información en tiempo útil en entornos tan adversos como los tácticos. Por otra parte, se han desarrollado e integrado módulos de interoperabilidad, tanto a nivel estratégico como a nivel táctico utilizando los principales estándares OTAN al respecto y se ha contribuido al desarrollo de dichos estándares, como en el caso de NFFI. Por otra parte, la inclusión de flujos multimedia ha sido una destacada aportación en el ámbito de la integración de sensores de la arquitectura propuesta.

- Las implementaciones desarrolladas han sido validadas en múltiples demostraciones, maniobras militares, ejercicios y pruebas de validación de organismos nacionales e internacionales. Al ser validadas sus implementaciones consideramos que se valida de forma evidente y en consecuencia la arquitectura propuesta, contribución principal de la presente tesis. En particular, las implementaciones desarrolladas han sido probadas y evaluadas en los ejercicios Coalition Warrior Interoperability Demonstration (CWID) de la OTAN, tanto nacionales como internacionales, en las demostraciones de tres proyectos europeos de investigación del sexto programa marco, en demostraciones y ejercicios para el Regimiento de Transmisiones 21(RETAC-21), Brigada de Transmisiones (BRITRANS), Unidad Militar de Emergencias (UME), Regimiento de Caballería Ligera no. 8 Lusitania (RCL-8) así como Consorcio Provincial de Bomberos, Guardia Civil, protección civil y Organizaciones No Gubernamentales (ONG). Por otra parte una de las implementaciones ha sido exhaustivamente evaluada por parte del organismo JCISAT del Ejército de Tierra pruebas que han conducido a su adquisición por el mismo, compra que nos parece una validación evidente del sistema implementado y, por lo tanto, de la arquitectura propuesta.
- Diversas aportaciones de la tesis han contribuido en gran medida a la participación del Grupo de Sistemas de Tiempo Real Distribuido en los proyectos europeos: PASR-MARIUS (Mobile Autonomous Reactive Information system for Urgency Situations), PASR-CITRINE (Common Intelligence and Traceability for Rescues and Identification operations), IST-DYVINE (DYNAMIC VISUAL NETWORKS) y WOLF (Wireless Robust Link for Urban Force Operations), éste último de la Agencia Europea de Defensa (EDA).

En cuanto a las mejoras y ventajas, que las investigaciones realizadas en la presente tesis, pueden aportar en el campo de los sistemas de mando y control de pequeña unidad, podríamos enumerar las siguientes:

- La propuesta de una arquitectura de mando y control de pequeñas unidades flexible, que permite la integración de tecnologías de comunicaciones heterogéneas en la arquitectura de red, la inclusión masiva de sensores y redes de sensores, la

reusabilidad y adaptabilidad al seguir el framework C4ISR del DoD norteamericano y exigir la utilización de estándares en todos sus componentes de la arquitectura software así como el uso de Commercial off the Shelf (COTS) a todos los niveles y la filosofía OSS (Open Source Software) cuando sea posible.

- El desarrollo de sistemas de mando y control de pequeña unidad con aplicación de los novedosos conceptos de Network Centric warfare (NCW), agilidad, 'power to the edge', autosincronización, etcétera. verificándose la elevada ganancia que aportan a la efectividad en el cumplimiento de una misión.
- La inclusión de flujos multimedia para mejorar la Common Operational Picture (COP) de los oficiales al mando de una operación al permitirles, "ver con sus propios ojos", lo que está ocurriendo en un punto concreto del teatro de operaciones. Además, la arquitectura propuesta permite visualizar dichos flujos en cualquier punto de la red, aplicando el concepto teórico de 'sensor-to-the-net'.
- El desarrollo e inclusión de mecanismos de réplica robustos y eficientes que permitan que todos los sistemas de mando y control implicados en una operación compartan la información en 'tiempo útil' y puedan disponer de la misma visión del teatro de operaciones pese a las condiciones adversas de los entornos tácticos.
- La inclusión de elementos de interoperabilidad en la arquitectura software que permiten la fácil integración de nuevos elementos software en la misma así como la comunicación eficiente con sistemas de otras naciones y agencias. En particular, se ha contribuido activamente al desarrollo del estándar NFFI (STANAG 5527) de la OTAN.
- La elevada valoración por parte de los usuarios finales de los sistemas desarrollados como elementos que aportaban una mejora considerable en su desempeño a la hora de cumplir las misiones asignadas, tal y como se ha visto en el capítulo 5 de validación.
- El hecho de que uno de los sistemas desarrollados para validar las propuestas teóricas de la presente tesis esté en uso por el Ejército de Tierra español nos parece una de las principales aportaciones a la sociedad del presente trabajo.

Podemos concluir que se ha propuesto una arquitectura de mando y control de pequeñas unidades que ha conducido al desarrollo de sistemas C4ISR, uno de ellos en uso por el Ejército de Tierra, que permiten a los oficiales responsables al mando de una operación, ya sea militar o de ámbito civil, disponer de sistemas que les entregan información veraz y lo más actualizada y adecuada a su marco cognitivo posible, que les conduce a tener una idea clara de lo que está ocurriendo en el teatro de operaciones, para poder tomar, con las máximas garantías, las decisiones adecuadas en todo momento que puedan conducir al éxito en el cumplimiento de una misión.

6.2 Trabajo futuro

Evidentemente en todo trabajo de investigación siempre quedan puntos que abordar o seguir desarrollando. Además, en el proceso de desarrollo de la tesis surgen nuevas líneas de investigación. Esta tesis se enmarca dentro de una línea de investigación de mando y control en el grupo de Sistemas de Tiempo Real Distribuido de la UPV que ya ha dado lugar a otra tesis relativa a modelos de datos en entornos tácticos [Car07] y en breve dará lugar a otras más. En el ámbito concreto de las arquitecturas de sistemas C4ISR para pequeñas unidades, objeto de esta tesis, se está trabajando ya y/o se prevén como puntos en los que ahondar la tarea de investigación y desarrollo los siguientes:

- Integración de nuevos medios radio en la arquitectura, así como mecanismos que la hagan más flexible y robusta ante caídas de nodos y perturbaciones. En particular, aplicación de algoritmos avanzados de mantenimiento del estado, que permitan que la red se reconfigure y permanezca operativa de manera automática y transparente para los usuarios, ante prácticamente cualquier perturbación. Por otra parte, la profundización en el uso de tecnologías WiMAX y MESH en las denominadas red de campo/combate y red táctica es otra de las líneas de trabajo que se vislumbran como continuaciones.
- Se sigue investigando en arquitecturas distribuidas y de réplica de la información. En concreto, la utilización de novedosos paradigmas para la replicación de la información como Data Distribution Service (DDS) [OMG05], middleware de tiempo real, y el protocolo Real Time Publish Subscribe (RTPS) [Den07] y su aplicación a entornos tácticos son los siguientes pasos a dar.
- Ampliación de los sistemas FFT desarrollados e investigación en esa área siguiendo las tendencias actuales para dotarlos de las características y funcionalidades de los sistemas denominados BMS.
- Ampliación de la investigación en sistemas desembarcados basados en PDA y su integración en sistemas FFT.
- La parte de interoperabilidad a nivel táctico, del presente trabajo, continúa en desarrollo puesto que el grupo de investigación forma parte del grupo de trabajo del NC3A en materia de sistemas FFT y contribuye al desarrollo de estándar NFFI. Durante todo este año se está contribuyendo a dicho desarrollo está prevista la participación en el ejercicio CWID internacional en Lillehammer, Noruega.

Por otra parte, esta línea de investigación continúa con nuevos proyectos de I+D donde se espera profundizar y ampliar resultados, en concreto:

- Está involucrado en los proyectos WOLF (Wireless Robust Link for Urban Force Operations, Contract A-0692-RT-GC) de la Agencia Europea de Defensa (EDA) para el desarrollo de comunicaciones tácticas robustas en entornos urbanos.

- Debido a los resultados extremadamente satisfactorios de los proyectos de I+D del sexto programa marco de la Unión Europea dentro de la acción especial PASR, MARIUS y CITRINE y de DYVINE en IST, los consorcios responsables de los mismos han lanzado propuestas para llevar a cabo continuaciones en el séptimo programa marco, estando confirmada en el momento actual la participación de la UPV en SEC-BOOSTER y SEC-VIRIATHUS, además, como coordinador en este último. Sin duda serán adecuados marcos para seguir ampliando las aportaciones de la presente tesis.

7. Referencias

[Abe98] Abeni, Buttazzo “Integrating multimedia applications in hard real-time systems” In Proceedings of the Real-Time Systems Symposium, pp. 3-13, 1998

[ADA] ADatP-3 NATO Message Text Formatting System (FORMETS), Part I, System Concept and Description, Draft, NATO UNCLASSIFIED, Julio 1993

[Adi04] J. Adiego, P. de la Fuente, G. Navarro “Merging prediction by partial matching with structural contexts model” En Proceedings of 2004 IEEE Data Compression Conference (DCC'04), p. 522, 2004.

[Adk03] J. Adkins, M. Kruse, “Case Study: NCW in the US Navy fifth fleet”, OSD 2003

[Adv95] S.V Adve et al., “Shared Memory consistency models: a tutorial”, RICE University Research Report 9512, 1995

[AGA05] Eléments de départ AGATE et Origine, “Manuel de référence AGATE V3”, Diciembre 2005

[AGI] http://www.agiledelta.com/technology_binaryxml.html

[Ahn00] C.W. Ahn, C.G. Kang, Y.Z. Cho, “Soft reservation multiple access with priority assignment (SRMA/PA): a novel MAC protocol for QoS-guaranteed integrated services in mobile ad hoc networks”, En Proceedings of the IEEE VTC, vol. 2, pp. 942–947, 2000

[Ahv03] S. Ahvenainen, “Backgrounds and principles of network-centric warfare”, National Defence College, 2003

[Alb99] D.S. Alberts, J.J. Garstka, F.P. Stein, “Network Centric Warfare”, Publicación del US Department of Defense Command and Control Research Program (CCRP), 1999

[Alb00] D.S. Alberts, J.J. Garstka, F.P. Stein, “Network Centric Warfare: Developing and Leveraging Information Superiority”, Publicación del US Department of Defense Command and Control Research Program (CCRP), segunda edición revisada, Febrero de 2000.

[Alb01] D.S. Alberts, J. J. Garstka, R.E. Hayes, D.T. Signori, “Understanding Information Age Warfare”, Publicación del US Department of Defense Command and Control Research Program (CCRP), 2001

[Alb02] D.S. Alberts et al., “Information Age Transformation”, Publicación del US Department of Defense Command and Control Research Program (CCRP), 2002

[Alb03] D.S. Alberts, R.E. Hayes, “Power to the edge”, Publicación del US Department of Defense Command and Control Research Program (CCRP), 2003

[Alb05] D.S. Alberts, R.E. Hayes, “Campaigns of Experimentation”, Publicación del US Department of Defense Command and Control Research Program (CCRP), 2005

[Alb06] D.S. Alberts, R.E Hayes, “Understanding Command and Control”, Publicación del US Department of Defense Command and Control Research Program (CCRP), 2006

[Alt99] M. Altherr, M. Erzberger, S. Maffeis, “iBus – a software bus middleware for the Java platform”, In International Workshop on Reliable Middleware Systems, pp. 43–53, Octubre 1999

[Amt01] E. Amt, “Medieval England 1000-1500: A Reader”, Broadview Press, Peterborough, Ontario, 2001

[Ara99] Araki, “Self-synchronization: what is it, how it is created and is it needed?”, Naval War College White Paper, Newport, Rhode Island, 1999

[ARE] <http://www.cdt.luth.se/projects/arena/>

[Arn03] S. Arnborg, J. Brynielsson, H. Artman, K. Wallenius “Information Awareness in Command and Control: Precision, Quality, utility”, En Proceedings of the Third International Conference on Information Fusion, Francia, 2003

[ARS] AUSA Background Brief, “Army Space Support as a Critical Enabler of Joint Operations”, Institute of Land Warfare Publication, no. 97, Diciembre 2003

[Ash94] M.H Ashcraft, “Human Memory and Cognition”, New York: HarperCollins College Publishers, 1994

[ASN] <http://asn1.elibel.tm.fr/xml/xer.htm>

[Atk05] S.R Atkinson, J. Moffat, “The Agile Organization”, Publicación del US Department of Defense Command and Control Research Program (CCRP), 2005

[ATU] “Arquitectura Técnica Unificada versión 1.0.2” Inspección General CIS, Ministerio de Defensa de España, 2007

[Aud90] N.C Audsley, “Deadline monotonic scheduling”, Department of Computer Science white paper, University of York, 1990

[AVI] <http://avis.sourceforge.net/>

[Bah00] P. Bahl et al. “RADAR: an In-Building RF-based User Location and Tracking System” Microsoft Corporation, 2000

[Bak89] M. Baker, W. Beamish, M. Turner, “The use of MIL-STD-188-141A in HF data networks”, Military Communications Conference (MILCOM’89), vol.1, pp. 75-79, 1989

[Bal99] R.O. Baldwin, N.J. Davis IV, S.F. Midkiff, “A real-time Medium Access Control protocol for ad hoc wireless local area networks”, Mobile Comput. Commun. Rev. 3 (2), pp. 20–27, 1999

- [Ban99] G. Banavar, T. Chandra, B. Mukherjee, J. Nagarajarao, R.E. Strom, D.C. Sturman, "An efficient multicast protocol for content-based publish-subscribe systems", En Proceedings of the 19th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS'99), 1999
- [Ban04] S.P Banbury, D.G Croft, W.J Macken, D.M Jones, "A cognitive streaming account of situation awareness", En S.P Banbury y S. Tremblay editores "A cognitive approach to situation awareness: Theory and application." Aldershot Publishing, Reino Unido, 2004
- [Bar37] F.C Bartlett, "Psychology and the Royal Air Force, 1 - A general survey", Royal Air Force Quarterly, 8:270-276, 1937
- [Bar46] F.C Bartlett, "Obituary notice: Kenneth J.W. Craik, 1914-1945", British Journal of Psychology, 36:109-116, 1946
- [Bar96] M. Baranov, V. Yodaiken, "Real Time Linux", New Mexico Institute of Mining and Technology, 1996
- [BAT] www.battle-technology.com/this_issue04d.html
- [Bat02] A.W Batschelet, "Effects based operations: a new operational model?", USAWC Strategic Research Project, 2002
- [Bay04] R.J, Bayardo, D. Gruhl, V. Josifovski, J. Myllymaki, "An evaluation of binary XML encoding optimizations for fast stream based XML processing", Proceedings of the 13th international conference on World Wide Web, pp. 345-354, New York, USA, 2004
- [Bay06] J.S Bayne, "A Theory of Enterprise Command and Control", IEEE Military Communications Conference (MILCOM), 2006
- [BEA] www.bea.com
- [Bec01] B. Beckwith "ORBExpress Notification Service" OMG Orbos – 2001-04-15, Objective Interface 2001
- [Bel05] A. Beloued et al., "Dynamic Data Replication and Consistency in Mobile Environments", En Proceedings of the 2nd international doctoral symposium on Middleware, 2005
- [Ben01] M. Benveniste, G. Chesson, M. Hoeben, A. Singla, H. Teunissen, M. Wentink, "EDCF Proposed Draft Text", IEEE Working Document 802.11-01/12 1r1, Marzo 2001.
- [Ber93] B. Bershad, M. Zekauskas, W. Sawdon, "The Midway Distributed Shared Memory System", En proceedings of the IEEE COMPCON Conference, 1993
- [Bez06] B. van Bezoujen et al., "Military self-synchronization: an exploration of the concept", 11th International Command and Control Research and Technology Symposium (ICCRTS), Cambridge, Reino Unido, 2006
- [BFS] www.difesa.it/NR/rdonlyres/9422B093-9646-41D2-B6FA-ABB4A6018960/0/latrasformazionecentrica.pdf

- [Bia07] Y.Q. Bian, Y. Sun. A. R. Nix, J.P. McGeehan, “High Efficient Mobile WiMAX with MIMO and Multihop Relay” Academy Publisher Journal of Communications, Vol. 2, No. 5, Agosto 2007
- [BIO] http://www.rusi.org/downloads/assets/Hon,_Battlefield_Management_Systems.pdf
- [Bis01] A.Bistrom et al. “ Advanced Wavelan Positioning System” Lulea University Technical Report, Mayo 2001
- [Bla04a] N. Blatt, “Operational Trust: A New Look at the Human Requirement in Network Centric Warfare”, 9th International Command and Control Research and Technology Symposium (ICCRTS), Dinamarca, 2004
- [Bla04b] N. Blatt, “Trust and Influence in the Information Age: Operational Requirements for Network Centric Warfare”, MS thesis, Monterrey Naval Postgraduated School, 2004
- [Bla05] C. Blais, M.R Hieb, K. Galvin, “Coalition Battle Management Language (C-BML) Study Group Report.” Paper 05F-SIW-041, Fall Simulation Interoperability Workshop, Orlando, Florida, September 2005.
- [Bol05] C. A. Bolstad, M. R. Endsley, “Measurement of Situation Awareness in Military Operations”, Presentado en Cognitive Performance Workshop, Las Vegas, Julio 2005
- [Boy86] J. Boyd, “Patterns of Conflict”, presentación realizada a la secretaría de defensa USA, Diciembre 1986
- [Boy76] J. Boyd, “Destruction and creation”, 1976
- [Bra84] V.Braitenberg, ”Vehicles:experiments in synthetic psychology”, MIT Press, 1984
- [Bre03] T. Brevick, “Network Centric Warfare – Norwegian Challenges”, Canadian Forces Research Project CSC29, 2003
- [Bre05] B. Brehmer, “The Dynamic OODA Loop: Amalgamating Boyd’s OODA Loop and the Cybernetic Approach to Command and Control”, 10th International Command and Control Research and Technology Symposium, McLean, Virginia, Estados Unidos, Junio 2005
- [Bro91] R.A Brooks “Intelligence without representation”, Artificial intelligence 47, p 139-159, 1991
- [Bro92] R.G Brown, "A Baseline RAIM Scheme and a Note on the Equivalence of Three RAIM Methods." Navigation: Journal of The Institute of Navigation 39 No. 3, pp.301-316, 1992
- [Bry1899] W.L Bryan, N. Harter, “Studies on the telegraphic language: The acquisition of a hierarchy of habits”, Psychological Review, 6:345-375., 1899

[Bry05] J. Brynielsson, M. Engblom, R. Franzen, J. Nordh, L. Voigt “Enhanced Situation Awareness using Random Particles”, 10th International Command and Control Research and Technology Symposium (ICCRTS'05), Washington D.C, USA 2005

[Bun03] P. Buneman, M. Grohe, C. Koch “Path queries on compressed XML” En International Conference on Very Large Data Bases (VLDB'03), pp. 141-152, 2003.

[BUS1] <http://www.busybox.net/>

[But93] G.C. Buttazzo, J.A. Stankovic , “RED: A Robust Earliest Deadline Scheduling Algorithm”, En Proceedings of 3rd International Workshop on Responsive Computing Systems, 1993

[But97] G. C Buttazzo “Hard Real-time Computing Systems Predictable Scheduling Algorithms and Applications”, Kluwer Academic Publishers, 1997

[BXM] <http://www.cubewerx.com/main/cwxml/>

[BZI] <http://sources.redhat.com/bzip2/>

[C2I] Multilateral Interoperability Program (MIP), “Command and Control Information Exchange Data Model”, (C2IEDM) Version 6.15e (Unclassified), Diciembre 2005

[C4I97] C4ISR Architectures Working Group (AWG) "C4ISR Architecture Framework Version 2.0" Office of the Assistant Secretary of Defense for Command, Control, Communications and Intelligence, Washington D.C, Diciembre 1997

[C4I07] http://jitc.fhu.disa.mil/jitc_dri/pdfs/dodaf_v1v1.pdf

[Car00] A. Carzaniga, D.S. Rosenblum, A.L. Wolf, “Achieving scalability and expressiveness in an internet-scale event notification service” En Proceedings of 19th ACM Symposium on Principles of Distributed Computing (PODC'00), Julio 2000.

[Car01a] S. Carey, M. Kleiner, M.R Hieb, R. Brown, “Standardizing Battle Management Language – A Vital Move Towards the Army Transformation.” Paper 01F-SIW-067, Fall Simulation Interoperability Workshop, Orlando, Florida, USA, Septiembre 2001

[Car01b] A.Carzaniga, A.L Wolf, “Content-based Networking: a new communication infrastructure” NSF Workshop on infrastructure for mobile and wireless systems, USA, 2001

[Car07] F. Carvajal, “Adaptación de modelos de datos tácticos de sistemas de información para mando y control a la gestión de emergencias”, Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, 2007

[Ceb98] A. Cebrowski, J. Gartska, “Network Centric Warfare: its origin and future”, En proceedings of the Naval Institute (USNI'98), 124:1, pp. 232-35, Enero 1998

[CEC] <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/ship/weaps/cec.htm>

- [CES1] Julio Cayo Cesar, “De Bello Gallico”, Editorial Gredos, Madrid
- [CES2] Julio Cayo Cesar, “De Bello Civili”, Editorial Gredos, Madrid 1995
- [CHA] www.maptools.org
- [Cha96] S. C. Chamberlain “Resilient Data Replication Mechanism for Battle Command Systems”, Em Proceedings of the 1996 International Symposium on Command & Control Research and Technology. Junio 1996
- [Che53] C. Cherry, “Some experiments on the recognition of speech with one and two ears”, Journal of the Acoustical Society of America, 25:975-979, 1953
- [Che01] J. Cheney "Compressing XML with multiplexed hierarchical models" En Proceedings of IEEE Data Compression Conference (DCC'01), pp. 163-172, 2001.
- [Che05] J. Cheney “An Empirical Evaluation of Simple DTD-Conscious Compression Techniques”, University of Edinburgh, Edinburgh, Reino Unido, 2005
- [Cla90] Raymond K. Clark “Scheduling Dependent Real-Time Activities”, Ph.D. Thesis, CMUCS-90-155, School of Computer Science, Carnegie Mellon University, 1990.
- [Cla07] J. Clancy, C. Crosset “Measuring effectiveness in irregular warfare”, Parameters, Vol. 37, No. 2, Junio 2007
- [CLAU] Carl von Clausewitz, “De la guerra”, Edición del ministerio de defensa de España, 1999
- [Cle97] J.G Clearly, H.Witten, "Data compression using contexts for PPM", Computer Journal 40(2/3), p. 67-75, 1997
- [Coh89] D. Cohen, “Compiling Complex Database Transition Triggers”, En proceedings of the ACM SIGMOD, pp. 225-234, Junio 1989
- [Cor02] S. Corrigan, “Introduction to the Controller Area Network (CAN)”, Texas Instruments Application Report SLOA101A, Agosto 2002
- [Cos03] C. Constanza, “Self-synchronization, the future force and the united status army’s objective force”, US Army School of Advanced military Studies Working paper, Fort Leavenworth, 2003
- [Crn05] I. Crnkovic, “COTS Component-based Embedded Systems – a Dream or Reality?” En Proceedings of the 4th International Conference on COTS-based Software Systems (ICCBSS'05), Bilbao, España, Febrero 2005

[Cug01] G. Cugola, E. Di Nitto, A. Fugetta, "The Jedi event-based infrastructure and its application to the development of the OPSS WFMS", IEEE Transactions on Software Engineering, 27(9), pp. 827–850, Septiembre 2001

[CWI] www.cwid.js.mil/public/CWID07CoalitionPartners.pdf

[DAG] <http://www.rockwellcollins.com/ecat/gs/DAGR.html#N96462>

[Day95] U. Dayal, E. Hanson, J. Widom, "Active Database Management Systems", Modern database system: the object model, interoperability and beyond, ACM press 1995

[Dee51] W.E Deeming "The new way in elementary principles of statistical control", Tokyo, Japón, 1951

[Dee89] W. E Deming, "Calidad, productividad y competitividad: la salida de la crisis", Madrid, Ediciones Díaz de Santos, 1989

[Dek06a] A.H Dekker, "Measuring The Agility Of Networked Military Forces" En Journal of Battlefield Technology, Vol. 9, No. 1, pp. 19-24, Marzo 2006

[Dek06b] A.H Dekker, "Agility in Networked Military Systems: A Simulation Experiment", 11th International Command and Control Research and Technology Symposium (ICCRTS), Cambridge, Reino Unido, 2006

[DEM] Multilateral Interoperability Program (MIP), "MIP MTIDP Annex A DEM (Data Exchange Mechanism) Specification", 2003

[Den96] K. Dennehy, C. Deighton, "Development of an interactionist framework for operationalising situation awareness", First International Conference in Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics, Stratford-on-Avon, Reino Unido, Octubre 1996

[Den99] D.J. Deng, R.S. Chang, "A priority scheme for IEEE 802.11 DCF access method", IEICE Trans. Commun.1E82-B (1), pp. 96–102, 1999

[Den03] G.Deng, A.Gokhale, B.Natarjan, "Model-driven integration of federated event services in real-time component middleware", ISIS, Vanderbilt University, 2003

[Den07] G. Deng, M. Xiong, A. Gokhale, G. Edwards, "Evaluating Real-Time Publish/Subscribe Service Integration Approaches in QoS-Enabled Component Middleware," 10th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC'07), pp.222-227, 2007

[DIE] www.fefe.de/dietlibc

[Dod06] Dodd, Richardson, Alston, Beautement, "Investigation into the C2 arrangements for Edge Organisations", QinetiQ, 2006

[Dow90] A. R. Downing, I.B. Greenberg, J.M. Peha, "OSCAR: a system for weak-consistency replication", In proceedings of the IEEE Workshop on the Management of Replicated Data , pp. 26-30, 1990

[DSA] Diego de Salazar "Tratado de Re Militari, hecho a manera de dialogo, que passo entre los illustrissimos Señores Don Gonzalo Fernandez de Cordova", Bruselas, 1590

[Dub86] M. Dubois, C. Scheurich, F. Briggs, "Memory Access Buffering in Multiprocessors", proceedings of the 13th ACM Annual International Symposium on Computer Architecture, 1986

[Dub88] M. Dubois, C. Scheurich, F. Briggs, "Synchronization, Coherence and Event Ordering in Multiprocessors", IEEE Computer, vol.21, 1988

[Edw03] G.T. Edwards, B.Natarjan, D.C. Schmidt, A.Gokhale, "Integrating publisher/subscriber services in component middleware for distributed real-time and embedded systems" ISIS tech report, Vanderbilt University, 2003

[EFX] <http://www.w3.org/TR/eximeasurements/>

[Eis00] G.Eisenhauer, F.E. Bustamante, K.Schwan "Event services for high performance computing" Georgia Institute of technology, 2000

[Eka03] Ekahau Incorporated "Ekahau Tecnology and Products", Finladia 2003

[ELB] http://www.eurosatory.mod.gov.il/pdfs/SOD_Elbit.pdf

[End73] N.S. Endler, "The person versus the situation - A pseudo issue? A response to Alker", Journal of Personality, 41:287-303, 1973

[End88a] M. R. Endsley, "Design and evaluation for situation awareness enhancement". En Proceedings of the Human Factors Society 32nd Annual Meeting, Human Factors Society, Santa Monica, CA, pp. 97-101, 1988

[End88b] M. R. Endsley, "Situation awareness global assessment technique (SAGAT)", En Proceedings of the IEEE 1988 National Aerospace and Electronics Conference, NAECON'88, vol. 3, pp. 789-795, 1988

[End95] M.R. Endsley, "Toward a theory of situation awareness in dynamic systems", Human Factors 37(1), pp. 32-64, 1995

[End00] M.R. Endsley, D.G. Garland, "Pilot situation awareness training in general aviation", En Proceedings of the 14th Triennial Congress of the International Ergonomics Association and the 44th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society. Santa Monica, California, USA, 2000

[End01] M.R. Endsley, W.M. Jones, "A model of inter- and intrateam situation awareness: Implications for design, training and measurement" En M. McNeese, E. Salas y M. Endsley

(Editores.), "New trends in cooperative activities: Understanding system dynamics in complex environments" Santa Monica, California, Human Factors and Ergonomics Society, 2001

[End04] M.R Endsley, "Situation awareness: Progress and directions" En S. Banbury y S. Tremblay (Editores), "A cognitive approach to situation awareness: Theory, measurement and application", pp. 317-341, Ashgate Publishing, Reino Unido, 2004

[EPS] <http://www.epsg.org>

[ESR] <http://www.esri.com>

[Esr98] "ESRI Shapefile Technical Description", ESRI White Paper, Julio 1998

[Est04] M. Esteve, "Sistemas y Protocolos de Tiempo Real", Material docente de la asignatura de doctorado, Universidad Politécnica de Valencia, 2004

[Est06] M. Esteve "C2 en la era de la información", Primeras Jornadas de Mando y Control, Universidad Politécnica de Valencia, Diciembre de 2006

[Eug03] P. Th. Eugster, P. A. Felber, R. Guerraoui, A. Kermarrec, "The many faces of publish/subscribe", ACM Computing Surveys, 2003

[EXA] exalt.sourceforge.net/

[Fal08] J. Falkner "Great and Glorious Days: Marlborough's Battles", The History press publisher, Londres, 2008

[Fan05] X. Fan, S. Sun, J. Yen, "On shared situation awareness for supporting human decision-making teams" En Proceedings of 2005 AAAI Spring Symposium on AI Technologies for Homeland Security , pp. 17-24, Marzo 2005

[Fav07] L. Favalli, M. Lanati, S.L. Monighini, P. Savazzi, "Resource Assignment in Multiservice 802.16E", 18th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC'07), 2007

[FBC] <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/land/fbcb2.htm>

[FCS] <https://www.fcs.army.mil/>

[FEF] <http://oe.handhelds.org>

[FEL] Commandement de la Doctrine et de l'Enseignement Militaire Supérieure "FELIN: Fantassin à Équipements et Liaisons Intégrés" Ministerio Francés de Defensa, <http://www.cdes.terre.defense.gouv.fr/sitefr/materiels/CC/felin.htm>

[FFW] <http://nsrdec.natick.army.mil/about/techprog/index.htm>

[FIA06] <http://sill-www.army.mil/famag/index.asp>

[FIS] <http://www.defense-update.com/products/f/fist.html>

[Flo93] S. Floyd, V. Jacobson, "Random Early Detection (RED) gateways for Congestion Avoidance", IEEE/ACM Transactions on Networking 1 (4): 397–41K, 1993

[FOT05] "Implementation of Network Centric Warfare", Force Transformation Research Program, 2005

[Fre99] E. Freeman, S. Hupfer, K. Arnold, "JavaSpaces: Principles, Patterns, and Practice", Addison Wesley, Junio 1999

[FRON]<http://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Frontinus/Strategemata/home.html>

[Ful36] J. F. C. Fuller, "Generalship: Its Diseases and Their Cure-A Study of the Personal Factor in Command", Harrisburg, USA, PA- Military Service Publishing Co., 1936

[GAI] J. Gailly, M. Adler, "gzip 1.2.4", <http://www.gzip.org/>

[Gal00] D. L Galli, "Distributed Operating Systems: Concepts and Practice", Prentice Hall, 2000

[GAO08] "Defense Acquisitions: 2009 review of future combat system is critical to program's direction", United States Government Accountability Office (GAO) report, Abril 2008

[Gar00] D.J Garland, M.R Endsley, (Editores), "Situation awareness analysis and measurement", Lawrence Erlbaum Associates, USA, 2000

[GDA] www.gdal.org

[GCC] www.sap.com/industries/defense-security/pdf/CS_Coalition_Warrior_Demonstration.pdf

[Geo90] Y. Georgiadou, K.D Doucet, "The issue of selective availability", GPS world, 1990

[Ger97] M. Gerla, C.R Lin, "MACA/PR: An asynchronous multimedia multihop wireless network", En Proceedings of the IEEE INFOCOM, Marzo 1997

[Gha90] K. Gharachorloo, D. Lenoski, J. Laudon, P. Gibbons, A.Gupta, J. Hennessy, "Memory Consistency and Event Ordering in Scalable Shared-Memory Processors", En Proceedings of the 17th Annual International Symposium on Computer Architecture, 1990

[GHS] www.ghs.com

[Gib00] A. Gibb, S. Chamberlain, "Data Replication in Low Bandwidth Military Environments -State of the Art Review" Defence Research Establishment Valcartier (Quebec) technical report, junio 2000

[Gib03] A.Gibb, "Replication Middleware for a Tactical Mobile Wireless Environment", IST-030/RTG-012 Workshop sobre "Role of Middleware in Systems Functioning over Mobile Communication Networks", Agosto 2003

[Gir00] M. Girardot, N. Sundaresun, "Millau: An encoding format for efficient representation and exchange of XML over the web", En Proceedings of the 9th WWW Conference, Amsterdam, Holanda, Mayo 2000.

[GLO] <http://www.globalmms.org>

[Gon91] M. Gonzalez-Harbour, L. Sha, "An Application-Level Implementation of the Sporadic Server", Carnegie Mellon University Software Engineering Institute (SEI), Technical Report CMU/SEI-91-TR-026, 1991

[Gon07] D. Gonsales et al. "Network Centric Operations Case Study: the Stryker brigada Combat Team", RAND Corporation, 2007

[Goo89] J. Goodman, "Cache Consistency and Sequential Consistency", Tecnical Report no. 61, IEEE Scalable Coherent Interface Working Group, 1989

[Gou77] M.G. Gouda, Y. Han, E.D. Jensen, W.D. Johnson, R.Y. Kain, "Distributed Data Processing Technology", Vol. IV, "Applications of DDP Technology to BMD:Architectures and Algorithms", Honeywell Systems and Research Center, Minneapolis, USA, 1977

[GRA] <http://www.geog.uni-hannover.de/grass/>

[Gra78] J. Gray, "Notes on Database Operating Systems", En "Operating Systems: An Advance Course", Springer-Verlag, pp. 394-481, 1978

[Gra05] T. Grant, B. Kooter "Comparing OODA and other models as operational view C2 architecture" 10th International Command and Control Research and Technology Symposium (ICCRTS), McLean, Virginia, USA, 2005

[Gre05] H.A Grebla, C. Cenan, "Distributed database replication - a game theory?", Seventh International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing, SYNASC'05, Septiembre 2005

[Gre07] T. de Greef, H. Arciszewski, "A closed-loop adaptative system for command and control", Lecture Notes on Computer Science, foundation of Augmented Cognition, Vol. 4565/2007, Springer 2007

[Gri91] G.B Griffin “The Directed Telescope: A Traditional Element of Effective Command”, US Army Command College publications, 1991

[GSO] <http://www.cs.fsu.edu/~engelen/soap.html>

[Gud37] H.Guderian, “Achtung Panzer!”, 1937

[GT4] <http://www.globus.org/toolkit>

[Gwy98] J.W Gwynne, N.J Heacox, “Decision making with degraded information: A cross-cultural investigation”, San Diego, USA, Pacific Science & Engineering Group, Inc., 1998

[H264] H.26L/H.264/MPEG-4 parte 10: ITU-T Rec. H.264 ISO/IEC 14496-10 “Advanced Video Coding”, Septiembre 2002

[Hal04] J. Hallberg, S. Svensson, A. Östmark, P. Lindgren, K. Synnes, and J. Delsing “Enriched Media-Experience of Sport Events”, En Proceedings of the sixth IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA 2004), Diciembre 2004

[Hap02] M. Hapner, R. Burridge, R. Sharma, J. Fialli, K. Stout. “Java Message Service” Sun Microsystems Inc., Abril 2002

[Har83] T. Harder, A. Teuter, “Principles of Transaction-Oriented Database Recover”, ACM Computing Surveys, Vol. 15, no.4, 1983

[Har97] T. Harrison, D. Levine, D.C. Schmidt, “The design and performance of a real-time CORBA event service”, En Proceedings of the 12th ACM Conference on Object-Oriented Programming Systems, Languages and Applications (OOPSLA’97), pp. 184–200, Octubre 1997

[Har98] H. Hartig, R. Baumgartl, M. Borriss, C. Hamann, M. Hohmuth, F. Mehnert, L. Reuther, S. Schonberg, J. Wolter, “Drops: Os support for distributed multimedia applications”, En Proceedings of the 8th ACM SIGOPS European workshop on Support for composing distributed applications. pp. 203–209, 1998

[Har02] B.M Harris “Amulet: Approximate Mobile User Location Tracking System” Unviersity of Rochester, USA, 2002

[Has95] H. Hassan, A. Crespo, A. García-Fornés “Scheduling Algorithms for Improving the Response in Intelligent environments”, 7th Euromicro Workshop on Real-Time Systems, 1995.

[Hau02] J. Haub, W. Johnson, G. Goddman, J. Lorke, J. Krieg “Visualisation and decision support aids for land-C4ISR”, Land Operations Division, Defence Science and Technology Organization, Australia

[Hed85] J. Hedl, J. Bartlett, “Test Anxiety and Effort-Toward-Comprehension in Sentence Memory”, 69th Annual Meeting of the American Educational Research Chicago, USA, 1985

[HER] Pajares et al. "Fragmentos presocráticos: de Tales a Heráclito", Alianza Editorial, Madrid 2002

[Hic03] J.Hicks, R.Flanagan, P.Petrov, A.Stoyen "Eyekeon: distributed augmented reality for soldier teams" 8th International Command and Control Research and Technology Symposium (ICCRTS'03), Washington D.C, USA 2003

[Hil92] D. Hildebrand, "An architectural overview of QNX", En Proceedings of the Workshop on Micro-kernels and Other Kernel Architectures, 1992

[Hil97] B. Hilburn, P. Jorna, E. Byrne, R. Parasuraman, "The effect of adaptive air traffic control (ATC) decision aiding on controller mental workload". En: M. Mouloua, M., J. M Koonce, J. M.(editors), "Human-automation interaction: research and practice", Lawrence Erlbaum Associates, pp. 84-91, USA, 1997

[Hua06] Y. Huang, D. Gannon, "A Comparative Study of Web Services-based Event Notification Specifications", Indiana University, 2006

[Hum04] M. Humphrey et al. "State and events for Web services: A comparison of five WS-Resource framework and WS-Notification implementations", University of Virginia, 2004

[Hut90] P. Hutto, M. Ahmad, "Low Memory: Weaking Consistency to Enhance Concurrency in Distributed Shared Memories", En Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems, 1990

[Ict00] Intelligent Compression Technologies (ICT), " ICT's XMLXpress", ICT white paper, Diciembre 2000

[Ina00] T. Inagaki, "Situation-adaptive Autonomy for Time-critical Takeoff Decisions", International journal of modelling and simulation, pp. 175-180, 2000

[IDZ]<http://www.bundeswehr.de/redaktionen/bwde/bwdebase.nsf/CurrentBaseLink/N264HUBT969MMISDE>

[IMP]www.eads.com/1024/es/businet/defence/dcs/army/c3i_systems/Impact/impact.html

[INF] <http://www.crpc.rice.edu/newsletters/spr96/wip.infospheres.html>

[ISO3166] http://www.iso.org/iso/country_codes.htm

[ISO26907] ISO/IEC 26907:2007, "Information technology -- Telecommunications and information exchange between systems -- High Rate Ultra Wideband PHY and MAC Standard", 2007

[ITT] acd.itt.com/pdf/domestic/S-TBMS.pdf

[ITU] www-itiv.etec.uni-karlsruhe.de

- [ITU96] ITU-T recommendation h.263, video coding for low bit rate communication, 1996
- [ITU05] ITU-T recommendation h.263, video coding for low bit rate communication, 2005
- [Jam1892] W. James, "Principles of Psychology", Henry Holt Publisher, Nueva York, USA, 1892
- [JC3] Multilateral Interoperability Program (MIP), "Joint C3 Information Exchange Data Model", (JC3IEDM) edition 3.1 (Unclassified), Diciembre 2006
- [JCO] <https://www.cwid.js.mil/public/CWID08FR/htmlfiles/168int.html>
- [Jen97] R.S. Jensen, "The Boundaries of Aviation Psychology, Human Factors, Aeronautical Decision Making, Situation Awareness, and Crew Resource Management", International Journal of Aviation Psychology, Vol. 7, Issue 4, pp. 259 – 267, Enero 1997
- [Jeu02] J. Jeuring, P. Hagg, "Generic programming for XML tools" Technical Report UUCS-2002-023, Utrecht University, 2002.
- [Joh01] S. Johnson, "Sistemas emergentes. O qué tienen en común hormigas, neuronas, ciudades y software", Fondo de Cultura Económica, Madrid, 2001
- [Jon93] D.M Jones, "Objects, streams, and threads of auditory attention", En A.D Baddeley, y L. Weiskrantz, (Editores), "Attention: Selection, awareness, control", Clarendon Press, Londres, 1993
- [Jon95] D.G Jones, M.R Endsley, "Investigation of situation awareness errors", En Proceedings of the Eighth International Symposium on Aviation Psychology, Ohio State University Press, 1995
- [JOV] <http://www.dtic.mil/jv2010/jvpub.html>
- [Kai03] J.Kaiser, C.Brudna, C.Mitidieri "A real-time event channel model for the CAN-bus" IEEE IPDPS'03, 2003
- [Kam95] I.M Kameny, "An Approach to Replicated Databases for Robust Command and Control", RAND Corporation, 1995
- [Kat07] S. Kato, N. Yamasaki "Feedback-Controlled Server for Scheduling Aperiodic Tasks", International Journal of Computer, Information, and Systems Science, and Engineering, 2007
- [Kel92] P. Kheler, A. Cox, W. Zwaenepoel, "Lazy Release Consistency", En Proceedings of the 19th Annual International Symposium on Computer Architecture, 1992
- [Kem03] C. R Kemp, "Trust - The Key to Leadership in Network Centric Environments", Army War College, Carlisle Barracks, USA, 2003

- [Kha08] S. Khan, A. Maciejewski, H. Siegel, "A Game Theoretical Data Replication Technique for Mobile Ad Hoc Networks", IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing, IPDPS'08, April 2008
- [Kie00] J.C. Kieffer, E. Yang, "Grammar Based Codes: A New Class of Universal Lossless Source Codes", IEEE Transactions on Information Theory, 2000
- [Kis02] A. Kishan, M. Michael, S. Rihan, R. Biswas "Halibut: An infrastructure for Wireless LAN-based Location Tracking", Stanford University 2002
- [Kle97] G.A Klein, "The recognition-primed decision (RPD) model: Looking back, looking forward", C. E. Zsombok and G. Klein, (editors), "Naturalistic decision making", pp.285–292, 1997
- [Kle07] M. Kleiner et al "Geospatial Battle Management Language: Bridging GIS, C2 and simulations" ESRI users conference 2007
- [Kru05] J. Kruse et al., "Network Centric Warfare in the U.S. Navy's Fifth Fleet", Proceedings of the 38th Hawaii International Conference on System Sciences, USA, 2005
- [Kru07] K. Kruger, M. Frey, U. Schade," Battle Management Language: Military Communication with Simulated Forces" In Improving M&S Interoperability, Reuse and Efficiency in Support of Current and Future Forces", Meeting Proceedings RTO-MP-MSG-056, Paper 5, pp. 5-1 – 5-10, Neuilly-sur-Seine, Francia, 2007
- [Koz09] R. Kozma, R. Puljic, L. Perlovsky, "Modeling Goal-Oriented Decision Making Through Cognitive Phase Transitions", New Mathematics and Natural computation, vol. 5, issue. 1, pp. 143-157, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 2009
- [Lag92] P. Lagarde, S.G di Pasquale, "The PR4G VHF ECCM system: extensive tactical communications for thebattlefield", IEEE Military Communications Conference (MILCOM92), vol. 2, pp. 662-666, Octubre 1992
- [Lam79] L. Lamport, "How to make a multiprocessor computer that correctly executes multiprocess programs", IEEE transactions on Computers, vol. C-28, no.9, 1979
- [Lam03] W.Y. Lam, W. Ng, P.T. Wood, M. Levene, "XCQ: XML compression and querying system" En Proceedings of 12th International Conference on the World Wide Web (WWW'03), 2003.
- [LAN]<http://www.defence.gov.au/dmo/lcd/land125/index.cfm>
- [Law81] Lawson, J., "Command and Control as a Process", IEEE Control Systems Magazine, Marzo 1981
- [Leh89] J. Lehoczky L. Sha, Y. Ding, "The rate monotonic scheduling algorithm: exact characterization and average case behavior", IEEE Real-Time Systems Symposium, pp. 166–17, 1989

- [Lei05] G. Leighton, J.Diamond, "A Grammar-based Approach for Compressing XML", Technical Report TR2005004, Jodrey School of Computer Science, Acadia University, Junio 2005
- [Lev02] M. Levene, P.T Wood "XML Structure Compression", En Proceedings of the Second International Workshop on Web Dynamics, Mayo 2002
- [LIB] The Open Group Base Specifications Issue 6 IEEE Std 1003.1, 2004 Edition
- [Lie00] H. Liefke, D. Suciu, "Xmill: An efficient compressor for XML data", En Proceedings of the 2000 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, Dallas, Texas, USA, Mayo 2000
- [Lin96] C.-H. Lin, "A multihop adaptive mobile multimedia network: architecture and protocols", Tesis doctoral, Universidad de California Los Angeles (UCLA), 1996
- [Lin97] C.R. Lin, M. Gerla, "Adaptive clustering for mobile wireless networks", IEEE Journal Sel. A. Commun. 15 (7), pp.1265–1275, 1997
- [Lip88] R. Lipton, J. Sandberg, "PRAM: A Scalabel Shared Memory", Princeton University Computer Science Technical Report: CS-TR 180-88, 1988
- [Liu73] C.L Liu, J.W Layland "Scheduling Algorithms for Multiprogramming in a Hard-Real-Time Environment" Journal of the ACM, vloume 20, issue 1, pp. 46-61, 1973
- [LOC] localis.org
- [Loc86] C. Douglass Locke "Best-Effort Decision Making for Real-Time Scheduling" Ph.D. Thesis, CMUCS-86-134, Department of Computer Science, Carnegie Mellon University, 1986.
- [Lou04] T. Loukopoulos, I. ahmad, "Static and adaptive distributed data replication using genetic algorithms", Journal of Parallel and Distributed Computing, Vol. 64, Issue 11, Noviembre 2004
- [Lue79] D. G Luenberger, "Introduction to dynamic systems" Wiley Publishing, 1979
- [LYN] www.linuxworks.com/
- [Ma98] C.Ma, J.Bacon "COBEA: a CORBA-Based Event Architecture", En Proceedings of the 4th Conference on Object Oriented Technologies and Systems, USENIX, 1998
- [Mai95] L. Maillet, C. Fraboul, "Scheduling complex real-time tasks in an embedded distributed system," ecrts, pp.62, 7th Euromicro Workshop on Real-Time Systems (EUROMICRO-RTS'95), 1995
- [MAP] mapserver.gis.umn.edu ULTIMA_REF
- [MAR]<http://www.mss.mil.se/taktik/article.php?id=9500>

[Mat94] M. Mataric “Interaction and behavior”, tesis doctoral, Massachusetts Institute of Technology (MIT), USA, 1994

[Mat00] M.D Matthews, R.J Pleban, M.R Endsley, L.G Strater, ”Measures of infantry situation awareness for a virtual MOUT environment”, En Proceedings of the Human Performance, Situation Awareness and Automation: User-Centered Design for the New Millennium, USA, 2000

[Mce06] J. McEver, D. Martin “Operationalizing C2 Agility”, Information Age Metrics Working Group (IAMWG), Diciembre 2006

[Mck90] P.E McKenney, “Stochastic fairness queueing”, En Proceedings of 9th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communication Societies (INFOCOM '90), vol. 2, pp. 733-740, 1990

[MEM] MTIDP-MIP_Technical_Interface_Design_Plan: MTIDP-SP-TWG-Edition1.4

[MEN] Bernardino de Mendoza “Theórica y práctica de la guerra”, Madrid 1596

[MES]<https://edge.arubanetworks.com/article/p-ieee-802-11-working-group-responsible-development-and-evolution-ieee-std-802-11-2007-commo>

[MIL-STD-188-110B] MIL-STD-188-110B, “Interoperability and Performance Standards for Data Modems”, U.S. Army Information Systems Engineering Command, Abril de 2000.

[MIL-STD-188-141B] MIL-STD-188-141B Change Notice 1, “Interoperability and Performance Standards for Medium and High Frequency Radio Equipment”, U.S. Army Information Systems Engineering Command, 2001

[MIL-STD-187-721C] MIL-STD-187-721C, “Planning and Guidance Standard for Automated Control Applique for HF Radio”, Noviembre 1994.

[Min00] D.A Mindell, “Cybernetics: Logic Domains in Engineering Systems”, Massachusetts Institute of Technology (MIT) press, USA, 2000

[Min03] J. Min, M. Park, C. Chung, “XPRESS: a queriable compression for XML data” In Proceedings of the Proceedings of the 2003 ACM SIGMOD international conference on Management of data, pp. 122-133, 2003

[Mis73] W. Mischel, “Toward a cognitive social learning reconceptualisation of personality”, Personality Review, 80(4), pp.252-283, 1973

[MJU] www.mapjunction.com

[MLB] www.maptools.org

[MODa] <http://www.modaf.org.uk/>

[MODb] <http://sourceforge.net/projects/mod-pubsub>

- [Mof04] J. Moffat "Complexity theory and network centric warfare" Information age transformation series" Publicación del US Department of Defense Command and Control Research Program (CCRP), 2004
- [Mor04] R. Morley, J. Kobsar, "Battle Command on the Move", Command and Control Research and Technology Symposium (CCRTS'04), San Diego, California, USA, 2004
- [Mou08] A.V. Moura, C.C. de Souza, A.A. Cire, T.M Lopes, "Heuristics and Constraint Programming Hybridizations for a Real Pipeline Planning and Scheduling Problem," pp.455-462, En proceedings of the 11th IEEE International Conference on Computational Science and Engineering, 2008
- [MPEG1] ISO/IEC 11172, 1991
- [MPEG2] ISO/IEC 13818, 1994
- [MPEG4] ISO/IEC 14496, 1999
- [MPL] www.mplayerhq.hu
- [MSW] msworkbench.sourceforge.net
- [MYS] <http://www.mysql.com>
- [Nag87] J. Nagle: "On packet switches with infinite storage." *IEEE Transactions on Communications*, 35(4):435–438, April 1987
- [Nap1806] Napoleón, "*Correspondence*", XIII, no. 10854, 1806
- [NAR] <http://www.naradabrokering.org>
- [NAT] NATO C3 Technical Architecture (NC3TA), Version 1.0, NATO HQ, B-1140 Brussels, Bélgica, Julio 1999.
- [NFFI1] AC322(SC5)N(2006)0025 - Interim NFFI Standard for Interoperability of FTS, Diciembre 2006
- [NFFI2] G. Hallingstad, R. Porta, "Interoperability of Friendly Force Tracking Systems in Coalition Operations", NC3A Technical Note 1182. (NATO Unclassified), Abril 2006
- [NFFI3] V. de Sortis, "NFFI Service Interoperability Profile 3 (SIP3) Technical Specifications (VERSION 1.0.0)", NC3A Working Paper EPW002038-05, 2008
- [NFFI4] R. Porta, "Friendly Force Tracking Hub (FFT-HUB) Functional Specifications (version 1.0)", NC3A REF. EPW002625-WP02, 2008
- [Ng06] W. Ng, W. Lam, J. Cheng "Comparative Analysis of XML Compression Technologies", *World Wide Web: Internet and Web information systems*, vol. 9, p. 533, Springer Science 2006.

- [Nie02] U. Niedermeier, J. Heuer, A. Hutter, W. Stechele, A. Kaup, "An MPEG7 tool for compression and Streaming of XML data", En Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME'02), vol. 1, pp. 521-524., Lausanne, Suiza, 2002
- [NME] National Marine Electronics Association, "NMEA 0183 Standard For Interfacing Marine Electronic Devices," Version 3.01, Enero 2002
- [ODA1] sourceforge.net/projects/opcxml
- [ODA2] <http://www.beharrell.org/projects/OPCDA/index.aspx>
- [Off95] Office of the Chief of Naval operations, "Naval Command and Control", Naval Doctrine Publication 6, Departmente of the Navy, Ejército USA, 1995
- [OFW] <http://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/ofw.htm>
- [OGD] ogdi.sourceforge.net
- [OGL] <http://www.dtek.chalmers.se/groups/dvd/>
- [OGR] www.gdal.org/ogr
- [OMG02] Object Management Group (OMG), "CORBA Event Service Specification ", 2002, extraído de www.omg.org/docs/formal/04-10-02.pdf
- [OMG03] Object Management Group (OMG), "Real-Time CORBA Specification (Dynamic Scheduling)", 2003
- [Omg05] www.omg.org/docs/formal/04-12-02.pdf
- [OMG06] Object Management Group (OMG), "Real-Time CORBA Specification (Static Scheduling)." 2006, extraído de <http://www.omg.org/docs/formal/05-01-04.pdf>
- [OPE] <http://openqueue.sourceforge.net/pubsub.php>
- [OPE1] <http://oe.handhelds.org>
- [ORA] <http://www.oracle.com>
- [OSE] <http://ose.sourceforge.net/>
- [Ott04] J. Ottenbacher, C. Kunze, U. Grossmann, W. Stork. "Integration of a Bluetooth Based ECG System into Clothing," ISWC04, pp. 186-187, 2004
- [Owe96] W.A Owens, "The emerging US system of systems", Institute for National Strategic Studies white paper, Washigton DC, USA, 1996
- [PAK] www.defencetalk.com/forums/archive/index.php/t-2980.html

[Pal05] C. E. Palau, M. Esteve, J. Martinez, B. Molina, I. Perez, "Urban Traffic Control: a Streaming Multimedia Approach", in proceedings of IEEE International Conference on Multimedia & Expo (ICME'05), ámsterdam, Julio 2005

[Par96] B.W Parkinson (Editor) "The Global Positioning System: Theory and Applications; Volume I & II", Progress in Aeronautics and Astronautics, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1996

[Pie02] P.R Pietzuch, J.M Bacon "HERMES: a distributed event based middleware architecture" University of Cambridge. 2002

[PLA] Platón, "Teeto", en Diálogos V, editorial Gredos

[Pei99] R.Pfeifer, C. Scheier, "Understanding intelligence" Massachusetts Institute of Technology (MIT) Press, 1999

[Per04] W. Perry, D. Signori, J. Boon, "Exploring information superiority a Methodology for Measuring the Quality of Information and Its Impact on Shared Awareness", National Defense Research Institute, RAND, USA, 2004

[Pet24] H. P Pétain, "Provisional Instructions for the Tactical Employment of Large Units", documento de doctrina del ejército francés, 1924

[PKZ] <http://www.pkware.com/>

[POS] postgis.refractor.net/

[POSX] <http://www.opengroup.org/>

[POS1003] http://www.opengroup.org/austin/papers/posix_faq.html

[PRO] <http://proj.maptools.org/>

[Pul07] Pullen, J.M., Hieb, M.R., Levine, S., Tolk, A., and Blais, C., "Joint Battle Management Language (JBML) – US Contribution to the Coalition Battle Management Language Product Development Group and the NATO MSG-048 Technical Activity." Paper 07E-SIW-029, European Simulation Interoperability Workshop, Genoa, Italy, June 2007.

[PYG] dev.globus.org/wiki/PyGridWare

[Qin98] Quincy, "The invention of the first wearable computer", En *The Second International Symposium on Wearable Computers: Digest of Papers*, IEEE Computer Society, pp. 4–8, 1998

[Rav05] B.Ravindran, E.D Jensen, P.Li "On Recent Advances in Time/Utility Function Real-Time Scheduling and Resource Management", Proceedings of the Eighth IEEE International Symposium on Object-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC'05)

[REN] Flavio Vegecio Renato "Compendio de técnica militar", Madrid 2006

[RHT] www.redhat.com

[RFC2205] “RFC 2205 Resource Reservation Protocol (RSVP) Version 1 Functional”, Network Working Group of the Internet Engineering Task Force (IETF), Septiembre 1997

[RFC2474] “RFC 2474 Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers”, Network Working Group of the Internet Engineering Task Force (IETF), Diciembre 1998

[RFC2475] “RFC 2475 An Architecture for Differentiated Services”, Network Working Group of the Internet Engineering Task Force (IETF), Diciembre 1998

[RFC2616] “RFC 2616 Hypertext Transfer Protocol -- HTTP/1.1”, Network Working Group of the Internet Engineering Task Force (IETF), Junio 1999

[RFC3561] "RFC 3561 Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing", Mobile Ad Hoc Networking Working Group of the Internet Engineering Task Force (IETF), Julio 2003

[RFC3626] "RFC 3626 Optimized Link State Routing Protocol (OLSR) ", Network Working Group of the Internet Engineering Task Force (IETF), Octubre 2003

[Ric98] R.J Rice “Operational Fires for the 21st century: the argument for a joint forces coordinator”, Maxwell-Gunter Air University, 1998

[Rot01] E.M Roth, E.S Patterson, R.J Mumaw, “Cognitive Engineering: Issues in User-Centered System Design”, En J. J. Marciniak (Editor), “Encyclopedia of Software Engineering”, 2nd Edition. New York: Wiley-Interscience, John Wiley & Sons, 2001

[RTAI] <https://www.rtai.org/>

[RTJ] <http://sourceforge.net/projects/rtjdds/>

[RTNET] <http://www.rts.uni-hannover.de/rtnet/>

[San85] R. Sandberg, D. Goldberg, S. Kleiman, D. Walsh, B. Lyon, “Design and Implementation of the Sun Network File System». Proceedings of the Summer 1985 Usenix Conference, 1985

[San07] N. Santos, L. Veiga, P. Ferreira, “Vector-Field Consistency for Ad-hoc Gaming”, Lecture Notes in Computer Science, Middleware 2007, Vol. 4834, Springer 2007

[SCA] <http://sca.jppeojtrs.mil/>

[Sca95] S. Scallen, P. Hancock, J. Duley, "Pilot performance and preference for short cycles of automation in adaptive function allocation", *Applied ergonomics*, pp. 397-404, Elsevier Publishing, 1995

[Sch00] J.M Schraagen, S.F Chipman, V.L Shalin, "Cognitive Task Analysis", Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, Inc, 2000

[Sch02] D.C Schmidt, C. O’Ryan, "Patterns and performance of distributed and real-time embedded publisher/subscriber architectures", *Journal of systems and software*, Elsevier, 2002

[Sch04] J. Schneider, "Extending the infosphere to mobile and embedded systems", AgileData report, XML for Binary Interchange 2004 Conference, Septiembre 2004

[Sco06] C. Scordino, G. Lipari, "A Resource Reservation Algorithm for Power-Aware Scheduling of Periodic and Aperiodic Real-Time Tasks", *IEEE Transactions on Computers*, vol. 55, no. 12, pp. 1509-1522, Diciembre 2006

[SCR] <http://www.linuxfromscratch.org>

[Seg00] B. Segall, D. Arnold, J. Boot, M. Henderson, T. Phelps, "Content Based Routing with Elvin4" En AUUG2K, Canberra, Australia, June 2000

[Sen97] P. Senge, "Building Learning Organisations" En *Organisation Theory: Selected Readings*, 4a Edición, Penguin, 1997

[SER] <http://www.servogrid.org>

[She01] S.-T. Sheu, T.-F. Sheu, "A bandwidth allocation/sharing/ extension protocol for multimedia over IEEE 802.11 ad hoc wireless LANs", *IEEE J. Sel. Areas Commun.* 19 (10), pp. 2065–2080, 2001

[Shi03] J. Shih "Wireless Lan location System" Master Thesis, School of Information Technology and Electrical Engineering, University of Queensland, Australia, 2003

[SIC] http://www.nexor.com/press_releases/2008/interactive

[Sim67] H. A Simon, "Motivational and emotional controls of cognition", *Psychological Review*, vol. 74, no. 1, pp. 29-39, 1967

[Ske98] D. Skeen, "Vitria's Publish-Subscribe Architecture: Publish-Subscribe Overview", <http://www.vitria.com>, 1998

[Smi03] E.A Smith "Effects Based Operations", Publicación del US Department of Defense Command and Control Research Program (CCRP), 2003

[SOA] <http://www.w3.org/TR/2007/REC-soap12-part0-20070427/>

[Son05] Q. Song, "A Robust Information Clustering Algorithm", *ACM Neural Computation*, Vol. 17, Issue 12, pp. 2672 – 2698, 2005

[Sri04] R. Srikant, “The Mathematics of Internet Congestion Control”, Boston, USA, 2004

[SSH06] The Secure Shell (SSH) Protocol Architecture, RFC 4251, 2006

[STA2014] NATO Military Agency for Standardization, STANAG 2014: Formats for Orders and Designation of Timings, Locations, and Boundaries. Brussels, BE, Edition 9, 2000.

[STA2020] NATO Military Agency for Standardization, STANAG 2020: Operational Situation Reports, OTAN, Febrero 1986

[STA4285] STANAG 4285, NATO Standardization Agreement, “Characteristics of 1200/2400/3600 bps Single Tone Modulators/Demodulators for HF Radio Links”, 1990.

[STA4538] STANG 4538, NATO Standardization Agreement, “Technical Standards for an Automatic Radio Control System (ARCS) for HF Communication Links”

[STA4539] STANAG 4539, NATO Standardization Agreement, “Technical Standards for an HF Non-Hopping Waveform”

[STA5066] STANAG 5066, NATO Standardization Agreement, “Profile for High Frequency (HF) Radio Data Communications”, 1999.

[STA5255] NATO Military Agency for Standardization, STANAG 5255: Joint Command Control Communications Information Exchange Data Model (JC3IEDM), OTAN, Marzo 2009

[STA5524] Standard Agreement STANAG 5524 Ed.1 “NATO C3 Technical Architecture”, OTAN 2005

[STA5527] STANAG 5527 NATO Friendly Force Information Standard for Interoperability of Force Tracking Systems, AC322(SC5)N(2006)0025 - Interim NFFI Standard for Interoperability of FTS, Diciembre 2006

[Sta88] J.A Stankovic, “Misconceptions About Real-Time Computing: A Serious Problem for Next-Generation Systems”, IEEE Computer 21(10), pp.10-19, Octubre 1988

[Sti98] D. Stiliadis, A. Varma, "Latency-rate servers: a general model for analysis of traffic scheduling algorithms". IEEE/ACM Transactions on Networking 6 (5): 611–624, 1998

[Sti03] B. Still, “The role of leadership in self-synchronized operations – implications for the US military”, Naval War College research report, USA, 2003

- [Stra01] L.D Strater, M.R Endsley, R. J Pleban, M.D Matthews, "Measures of platoon leader situation awareness in virtual decision making exercises", Army Research Institute, Research Report 1770, USA, 2001
- [Str00] L. Strater et al." SAGAT: a situational awareness measurement tool for commercial airline pilots" En proceedings of human performance, situation awareness and automation(HPSAA), Octubre 2000
- [Sys03] Systematic Software Engineering A/S "IP Firefighter White Paper", Marzo 2003
- [TAL] Talarian Corporation, "Everything You need to know about Middleware: Mission-Critical Interprocess Communication", (White Paper). <http://www.talarian.com/>, 1999
- [Tam99] M. Tamer, O. Valduriez, "Principles of Distributed Database Systems", Prentice-Hall, 1999
- [Tay89] R.M Taylor, "Situational awareness rating technique (SART): The development of a tool for aircrew systems design" En Proceedings of the AGARD AMP Symposium on Situational Awareness in Aerospace Operations, CP478. Seuilly-sur Seine, Francia, 1989
- [Tha96] P. Thagard, "Mind: Introduction to Cognitive Science", MIT Press, 1996
- [Tho00] R. Thomas, R.A Beamer, P.K Sowell, "Civil application of DoD C4ISR architecture framework: a treasure department case study", 5th Internacional Command and Control Research and Technology Symposium (ICCRTS), Canberra, Australia, 2000
- [TIB] TIBCO, "TIB/Rendezvous (White Paper)", 1999
- [Tim04] C. Timmerer, H. Hellwagner, J. Heuer, C. Seyrat, A. Hutter, "BinaryXML A Comparison of Existing XML Compression", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2004/M10718, Munich, Alemania, Marzo 2004
- [Tod04] D. Todd, J. Green, A. Gupta, G. Miklau, M. Onizuka, D. Suciú "Processing XML streams with deterministic automata and stream indexes" Transactions on Database Systems, 29(4), Diciembre 2004
- [Tol02] P. M. Tolani, J. R. Haritsa, "XGRIND: A query-friendly XML compressor", En Proceedings of IEEE 18th International Conference on Data Engineering (ICDE'02), pp. 225-234, 2002
- [Tom04] V. Toman "Syntactical Compression of XML Data", Conference on Advanced Information Systems Engineering, CAISE, Riga, Letonia, Junio 2004
- [TRO]<http://www.janes.com/articles/Janes-C4I-Systems/TROP-Battlefield-Management-System-BMS-Poland.html>
- [TZU] Sun Tzu "El arte de la guerra" Editorial Trotta, Madrid 2007

[UAR37] U.S Army Command and control Staff principles, FM 101-5 Staff Officers Field Manual

[UDD] <http://www.uddi.org/pubs/uddi-v3.00-published-20020719.htm>

[Vid97] R. Vidano, "SPEAKeasy II-an IPT approach to software programmable radiodevelopment", En IEEE MILCOM 97 Proceedings, Vol. 3, Issue , 2-5, pp. 1212-1215, Noviembre 1997

[VLA]<http://www.videolan.org>

[VMF] MIL-STD-6017A (NOTICE 1), Department of Defense Interoperability Standard, "VARIABLE MESSAGE FORMAT (VMF) MESSAGE STANDARD", Noviembre 2006

[Wan03] N.Wang, D.C Schmidt, A.Gokhale, C.Rodrigues, B.Natarjan, J.P Loyall, R.E Schantz, C.D Gill, "QoS-enabled middleware" Middleware for communications, Wiley and sons, 2003

[WBX] <http://www.w3.org/TR/wbxml/>

[WCE]<http://www.microsoft.com/windowseembedded/en-us/products/windowsce/default.msp>

[WCE1] <http://www.windowsfordevices.com/articles/AT6761039286.html>

[WCE2]download.microsoft.com/download/5/b/9/5b97017b-e28a-4bae-ba48-174cf47d23cd/WCE032_WH06.ppt

[Weh06] C. Wehner, "Tornado and VxWorks", 2006

[Wel05] B. J. Welch et al. "Supporting Demanding Hard-Real-Time Systems with STP", IEEE Transactions on Computers, Vol. 54, No. 10, p. 1188, Octubre 2005

[Wes05] N. Wessensten, G. Belenky, T. Balkin, "Cognitive readiness in network centric operations", Parameters, pp. 94-105, 2005

[Wie48] Weiner, N., Cybernetics – Communications and Control in Man and Machine, Massachusetts Institute of Technology (MIT), USA, 1948

[Wil07] C.Wilson, "Network Centric Operations: Background and Oversight Issues for Congress", Reporte del Congressional Research Service (CSR) para el congreso USA, abril 2007

[Wir00] T. Wirén, A. Mattson, B. Andersson "Info-Firefighter"5th International Command and Control Research and Technology Symposium (ICCRTS'00), Canberra, Australia 2000

[Woh81] F.G Wohl "Force Management Decision Requirements for Air Tactical Command and Control", IEEE transactions in Systems, man and Cybernetics, SMC-11, 9, pp. 618-639, Septiembre 1981

[WSD] <http://www.w3.org/TR/wsdl>

[WSE] <http://www.w3.org/2002/ws/>

[WTC] <http://www.orenosv.com/wintc/index.html>

[XBL] www.xmlblaster.org

[XIN] <http://xine.sourceforge.net>

[XML] <http://www.w3.org/TR/2004/REC-xml-infoset-20040204/>

[XMP] <http://xmlppm.sourceforge.net/>

[XZI] XMLZip from XML Solutions <http://www.xmls.com>

[Yal70] W.W Yale, I. D. White, H. von Manteuffel, “*Alternative to Armageddon: The Peace Potential of Lightning War*”, Rutgers University Press, USA, 1970

[Yan98] S.Yan, H. Oh, “A Modified Least-Laxity-First Scheduling Algorithm for Real-Time Tasks”, En Proceedings of the 5th International Conference on Real-Time Computing Systems and Applications, pp. 31, 1998

[You02] M Youssef, A. Agrawala, “Continuous Space Estimation for WLAN Location Determination Systems”, University of Maryland , 2002

[Zha04] J. Zhang, J. Guo, X. Jiang, H. Fan, “Research on information superiority evaluation model of command automation system”, Fifth World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA), 2004

[Zan1778] F.W. von Zanthier, “Tratado sobre la marcha del ejército, el posicionamiento en la batalla y la planificación de operaciones”, Dresden, 1778

[ZIG] <http://www.zigbee.org/>