

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

---

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CARTOGRÁFICA, GEODESIA  
Y FOTOGRAMETRÍA

## PROGRAMA DE DOCTORADO

GEODESIA, CARTOGRAFÍA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN  
GEOGRÁFICA



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

**Análisis de los Servicios y Aplicaciones LBS**

Desarrollo de una plataforma de apoyo para la  
gestión de procesos y localización de personas

### **Tesis doctoral**

*Presentada por:*  
Javier Irimia Cervera

*Dirigida por:*  
Dr. Israel Quintanilla García

Mayo 2014



*“Quien no quiere pensar,  
es un fanático;  
quien no puede pensar,  
es un idiota;  
quien no osa pensar,  
es un cobarde.”*

Francis Bacon (1561-1626)



# AGRADECIMIENTOS

Mediante estas líneas y una vez finalizado el largo camino que ha supuesto concluir esta tesis, me gustaría agradecer a muchas personas e instituciones el apoyo recibido durante todo este tiempo.

En primer lugar muchas gracias a mis padres Ángel y Maruja, a mi hermano Sergio, y muy en especial a Sofía, que han aguantado mis horas, días y noches, encerrado delante del ordenador con tranquilidad y comprensión y siempre me han apoyado, animado y motivado para llevar adelante este trabajo y no dejarlo de lado.

Además me gustaría agradecer la dedicación prestada por mi tutor, Israel Quintanilla García, y a mis compañeros/as de estudios por sus aportaciones desinteresadas cuando me bloqueaba y no sabía qué dirección tomar.

Por otra parte, no podría dejar de nombrar a Miguel Giménez Gadea, director de la Escola d'Estiu de la Universitat Politècnica de València, por la confianza depositada en mí a la hora de realizar esta investigación. Además agradecer en primera persona a Teresa Meneu, Víctor Ribes y Eduardo Montón, y a toda la gente que desde el Instituto ITACA han hecho posible este trabajo.

También agradecer a aquellos amigos y amigas cercanos que os habéis preocupado por preguntarme, animarme y acompañarme a lo largo de estos años. Siempre os llevaré conmigo.

Y por último a todos aquellos que de una u otra forma han colaborado, apoyado, orientado, criticado y aportado a esta tesis, y que sería muy difícil nombrar sin dejarme ninguno.

Por ello, a tod@s, muchas gracias de corazón.



# RESUMEN

La Escola d'Estiu de la Universidad Politécnica de Valencia es un organismo que se encarga de organizar y gestionar actividades de ocio y tiempo libre, a lo largo de todo el año. Entre estas actividades nos encontramos con la que se realiza en el mes de julio y en la que participan alrededor de 2.000 niños.

Esta elevada participación de menores, en este tipo de actividad tan concreta, requiere tener un sistema que permita la localización automática de los niños, así como la gestión rápida, efectiva y eficaz de los procesos que se realizan en la Escola d'Estiu. Es por ello que desde la Escola d'Estiu de la Universidad Politécnica de Valencia, junto con el departamento TSB del Instituto ITACA, y su *spin-off* Soluciones-TSB hemos desarrollado una solución para la localización y gestión de los participantes y toda la información que orbita a su alrededor. El proyecto ha sido financiado por la Universidad Politécnica de Valencia.

Partiendo de un amplio análisis de los servicios y aplicaciones LBS que nos encontramos en el mercado actualmente y poco a poco, centrando la solución propuesta en la casuística tan particular que presenta nuestro escenario, hemos ido marcando el camino para desarrollar una aplicación que se ajusta a nuestras necesidades. Además podemos afirmar que hemos irrumpido en un nuevo sector de negocio con muchas posibilidades en un futuro no muy lejano, y con campos de aplicación muy diversos.

Gracias a esta investigación, abrimos una nueva ventana al mundo de la ingeniería cartográfica, donde la presencia de nuestros titulados en equipos multidisciplinares de trabajo debe ser requerida y valorada como corresponde.

# ABSTRACT

The “Escola d’Estiu” of the Polytechnic University of Valencia is an organism that is responsible for organizing and managing leisure and free time throughout the year. Among these activities we find the activities carried out in July and involving about 2.000 children.

This high participation of children, such as concrete activity requires having a system for automatic location of children, and the management fast, effective and efficient processes that take place in the Summer School. That is why from the Summer School of the Polytechnic University of Valencia, together with the TSB department of the ITACA Institute and its spin-off TSB-Solutions have developed a solution for tracking and management of participants and all information orbiting around it. The project was funded by the Polytechnic University of Valencia.

Based on an extensive analysis of LBS applications and services that we are in the market today and slowly, concentrating the solution proposed in the very particular case mix presenting our scenario, we have been leading the way to develop an application that meets our needs. We can also say that we have broken into a new business sector with many possibilities in the not too distant future, and with many different application fields.

Thanks to this research, we open a new window to the world of engineering mapping, where the presence of our graduates working in multidisciplinary teams should be required and valued accordingly.



# RESUM

L'Escola d'Estiu de la Universitat Politècnica de València és un organisme que s'encarrega d'organitzar i gestionar activitats d'oci i temps lliure al llarg de tot l'any. Dins d'eixes activitats trobem les que s'organitzen al mes de juliol, en les que participen prop de 2.000 xiquets.

Aquesta elevada participació de menors, en aquest tipus d'activitat tan concreta, requereix tindre un sistema que permetrà la localització automàtica dels xiquets, així com la gestió ràpida, efectiva i eficaç dels processos que es realitzen en l'Escola d'Estiu. És per això que des de l'Escola d'Estiu de la Universitat Politècnica de València, en col·laboració en el departament TSB de l'Institut ITACA i la seua spin-off Soluciones-TSB hem desenvolupat una solució per a la localització i gestió dels participants i tota la informació que orbita al seu voltant. El projecte ha estat finançat per la Universitat Politècnica de València.

Partint d'un ampli anàlisi dels serveis i aplicacions LBS que ens trobem en el mercat actualment i poc a poc, centrant la solució proposada en la casuística tan particular que presenta el nostre escenari, hem anat marcant el camí per a desenvolupar una aplicació que s'ajusta a les nostres necessitats. A més a més podem afirmar que hem fet camí en un nou sector de negoci en moltes possibilitats en un futur no molt llunyà, i en camps de aplicació molt diversos.

Gracies a aquesta investigació, obrim una nova finestra al món de la enginyeria cartogràfica, on la presencia dels nostres titulats en equips multidisciplinaris de treball ha de ser requerida i valorada com correspon.



# ÍNDICE

ÍNDICE.....	i
FIGURAS.....	vii
TABLAS.....	xiv
ACRÓNIMOS .....	xvi
CAPÍTULO 1.    PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1    Antecedentes de la Investigación.....	3
1.2    Justificación y definición de objetivos.....	5
1.3    Estado del Arte .....	7
1.3.1    Tecnologías.....	7
1.3.2    Experiencias Similares .....	11
1.4    Contenido y estructura de la Tesis .....	15
CAPÍTULO 2.    CONCEPTOS GENERALES .....	4
2.1    Introducción .....	21
2.2    Servicios LBS .....	22
2.2.1    Qué son los servicios LBS.....	23
2.2.2    Para que puedo utilizar los servicios LBS.....	29
2.2.3    Categorías LBS .....	32
2.2.4    Qué tienen de especial los servicios LBS .....	41
2.2.5    Cómo funcionan los servicios LBS .....	45
2.3    Tecnología SIG .....	47
2.3.1    Introducción .....	47

2.3.2	¿Qué es un SIG?.....	47
2.3.3	Utilización de los SIG .....	56
2.3.4	Aplicaciones de los SIG .....	59
2.4	Sistemas de Posicionamiento Global .....	62
2.4.1	Sistema GPS.....	63
2.4.2	Sistema GLONASS.....	73
2.4.3	Otros sistemas.....	82
2.5	Sistemas Globales de Navegación por Satélite. GNSS.....	90
2.5.1	Necesidades de un sistema de navegación.....	91
2.5.2	Evolución del GNSS.....	92
2.5.3	Sistemas de aumentación .....	94
2.6	GSM/GPRS.....	100
2.6.1	GSM: La base del GPRS.....	101
2.6.2	Arquitectura de una red GSM .....	101
2.6.3	Limitaciones de GSM para la transmisión de datos. ....	104
2.6.4	¿Qué es GPRS?.....	105
2.6.5	¿Por qué es mejor GPRS que GSM? .....	106
2.6.6	Servicios del GPRS para el usuario. ....	107
2.6.7	Ventajas del GPRS para la operadora.....	109
2.6.8	¿Cómo se accede a GPRS?.....	109
2.7	Sistemas RFID .....	111
2.7.1	Funcionamiento.....	111

---

2.8	Wi-Fi .....	113
2.8.1	Comunicación .....	113
2.8.2	Estándares .....	114
2.8.3	WPS (Wi-Fi Position System) .....	115
2.9	Bluetooth.....	126
2.9.1	Origen del nombre .....	126
2.9.2	Comunicación .....	126
2.9.3	Perfiles Bluetooth.....	129
2.10	ZigBee .....	132
2.10.1	Dispositivos.....	134
2.10.2	Protocolos.....	135
2.10.3	Conexión.....	137
2.10.4	Seguridad.....	140
2.10.5	Ventajas y desventajas .....	142
2.10.6	Aplicaciones.....	143
2.11	Comparación de tecnologías inalámbricas.....	144
CAPÍTULO 3.	METODOLOGÍA.....	145
3.1	Estudio del entorno de trabajo .....	163
3.2	Necesidades del sistema .....	165
3.2.1	Identificación del método de trabajo de los monitores.....	165
3.2.2	Evaluación de las capacidades del sistema .....	166
3.2.3	Descripción de la prueba piloto.....	167

3.2.4	Validación de la prueba piloto y mejoras.....	168
3.3	Descripción de la arquitectura del sistema .....	169
3.3.1	Capa de Hardware y Comunicaciones.....	170
3.3.2	Capa de Información y Localización .....	172
3.4	Descripción funcional .....	173
3.4.1	Actores.....	173
3.4.2	Roles .....	174
3.4.3	Procedimientos.....	174
3.5	Funcionalidades del sistema .....	177
3.5.1	Consultas .....	177
3.5.2	Gestión de llegadas / salidas .....	178
3.5.3	Localización de niños.....	178
3.5.4	Identificación de niños .....	179
3.5.5	Aviso a Responsable .....	179
3.5.6	Gestión de uso del Sistema (LOG) .....	179
3.5.7	Comunicaciones .....	179
3.5.8	Almacenamiento persistente de datos .....	180
3.5.9	Sincronización de los datos .....	180
3.6	Modelo y diccionario de datos.....	181
3.6.1	Tablas.....	181
3.7	Materiales.....	189
3.7.1	Software .....	189

---

3.7.2	Hardware .....	193
CAPÍTULO 4.	ANÁLISIS Y RESULTADOS .....	199
4.1	Métodos de evaluación .....	201
4.1.1	Evaluación de la correcta comunicación entre pulseras y PDA 201	
4.1.2	Evaluación de la distancia de Emisión/Recepción.....	202
4.1.3	Latencia (intervalo de recepción).....	203
4.1.4	Escalabilidad .....	204
4.1.5	Evaluación de la funcionalidad .....	205
4.2	Costes .....	209
4.3	Resultados I .....	211
4.3.1	Aplicación desarrollada. Fase I .....	211
4.3.2	Resultados de la prueba piloto.....	228
4.4	Discusión I.....	232
4.4.1	Necesidad de un sistema de localización en tiempo real ..	232
4.4.2	Discusión.....	233
4.5	Resultados II .....	236
4.5.1	Diseño del dispositivo receptor .....	236
4.5.2	Aplicación desarrollada. Fase II .....	237
4.6	Discusión II.....	274
4.6.1	Nuevo diseño de pulseras .....	274
4.6.2	Mejoras a la funcionalidad .....	275
4.6.3	Repercusión pruebas piloto .....	275

CAPÍTULO 5.	CONCLUSIONES GENERALES.....	277
5.1	Revisión de objetivos.....	279
5.1.1	Desarrollar una aplicación, de bajo coste y bajo consumo, que permita la localización de personas en recintos exteriores.....	280
5.1.2	Identificar una arquitectura de capas de la solución a desarrollar .....	281
5.1.3	Identificar el método de trabajo de los monitores y las ayudas que el sistema debe ofrecer.....	282
5.1.4	Realizar un estudio del arte de los casos similares, y elegir la tecnología adecuada. ....	282
5.1.5	Crear una base de datos que se ajuste a las necesidades de la Escola d’Estiu en la UPV .....	283
5.1.6	Validación de la correcta comunicación entre las pulseras de localización y la tarjeta SDIO/ <i>ZigBee</i> , y evaluación de las capacidades técnicas	284
5.2	Especificación del trabajo desarrollado .....	285
5.3	Trabajo futuro .....	287
5.3.1	Funcionalidades.....	287
5.3.2	Nuevas líneas de desarrollo .....	289
CAPÍTULO 6.	DIVULGACIÓN DEL CONOCIMIENTO .....	293
CAPÍTULO 7.	BIBLIOGRAFÍA .....	299



# FIGURAS

Figura 1.	Combinación GNSS - LBS - SIG - WC .....	8
Figura 2.	Comunicación y posicionamiento vía GPRS .....	8
Figura 3.	Ejemplo de localización de interiores por RFID.....	9
Figura 4.	Sistema de posicionamiento por WI-FI .....	10
Figura 5.	Parque Legoland en Alemania.....	12
Figura 6.	Pulsera empleada en Kindercity.....	12
Figura 7.	Intersección de tecnologías.....	23
Figura 8.	Partes de un servicio LBS.....	25
Figura 9.	Modelo de información en un proceso LBS .....	27
Figura 10.	¿Dónde estoy? ¿Dónde están mis amigos? ¿Qué hay a mí alrededor?	29
Figura 11.	Gráfica ejemplo servicios LBS de emergencia .....	33
Figura 12.	Mercedes-Benz TELEAID System .....	34
Figura 13.	Gráfica ejemplo servicios LBS de navegación.....	35
Figura 14.	Imágenes de la aplicación “Cálculo de rutas UPV” .....	35
Figura 15.	Gráfica ejemplo servicios LBS de información .....	36
Figura 16.	Imágenes aplicación “Gestión LICs” .....	37
Figura 17.	Gráfica ejemplo servicios LBS de seguimiento y gestión .....	38
Figura 18.	Esquema de funcionamiento de la aplicación “Toll Collect”	39
Figura 19.	Gráfica ejemplo servicios LBS de juego y ocio.....	40
Figura 20.	Contextos definidos en [40] .....	43

Figura 21.	Niveles de adaptación según [41] .....	44
Figura 22.	Flujo de información en un servicio LBS según [27].....	46
Figura 23.	Partes de un SIG .....	49
Figura 24.	Diversas capas en un SIG .....	50
Figura 25.	En los SIG convergen distintas líneas de trabajo.....	51
Figura 26.	Ejemplo de datos necesarios para un análisis SIG.....	52
Figura 27.	Consulta a través del programa cliente gvSIG.....	55
Figura 28.	Zona óptima localización albergue en la Canal de Navarrés	58
Figura 29.	Sectores GPS.....	64
Figura 30.	Estado de la constelación GPS.....	66
Figura 31.	Disponibilidad Selectiva ON/OFF.....	68
Figura 32.	Sistema de coordenadas WGS-84 .....	69
Figura 33.	Estado de la constelación GLONASS.....	76
Figura 34.	Arquitectura de GALILEO.....	85
Figura 35.	Bandas GPS, GLONASS y GALILEO .....	88
Figura 36.	Desarrollo GNSS-1 .....	93
Figura 37.	Estructura del GNSS.....	94
Figura 38.	Sistemas de aumentación basados en satélites .....	96
Figura 39.	Cobertura de los satélites EGNOS .....	97
Figura 40.	Arquitectura de EGNOS .....	98
Figura 41.	Esquema de subsistemas de comunicación .....	104
Figura 42.	Ejemplo de cálculo del método vector de potencia.....	119

---

Figura 43.	Puntos de triangulación resultado de un sistema de ecuaciones	120
Figura 44.	Comunicación Bluetooth. <i>Piconet</i> .....	127
Figura 45.	Comunicación Bluetooth. <i>Scatternet</i> .....	127
Figura 46.	Dependencia de perfiles Bluetooth.....	131
Figura 47.	Bandas de actuación del <i>ZigBee</i> .....	133
Figura 48.	Topologías de red <i>ZigBee</i> .....	137
Figura 49.	Comunicación <i>ZigBee</i> con balizas.....	139
Figura 50.	Comunicación <i>ZigBee</i> sin balizas .....	140
Figura 51.	Arquitectura del sistema desarrollado para la prueba piloto	168
Figura 52.	Esquema de la relación entre capas.....	169
Figura 53.	Representación de la pulsera .....	170
Figura 54.	Plataforma de la solución planteada.....	171
Figura 55.	Relación existente entre las clases de usuario .....	173
Figura 56.	Mapa de tablas de la base de datos .....	181
Figura 57.	Fotografía de la carcasa de las pulseras .....	194
Figura 58.	Fotografía de la tarjeta SDIO/ <i>ZigBee</i> .....	195
Figura 59.	Esquema de funcionamiento del driver .....	195
Figura 60.	Tabla de características Hp Ipaq 214.....	196
Figura 61.	Tabla de características PDA Pocket Loox N500 .....	197
Figura 62.	Pruebas realizadas en seminario de trabajo .....	201
Figura 63.	Escenario de las pruebas realizadas en la UPV.....	202

Figura 64.	Fotografía paso de lista individual.....	205
Figura 65.	Escenario de las pruebas realizadas en la UPV.....	206
Figura 66.	Potencia recibida de las pulseras vs distancia.....	207
Figura 67.	Comparación potencia recibida de las pulseras vs distancia 207	
Figura 68.	Fotografía durante el desarrollo de actividades en la Escola d'Estiu	208
Figura 69.	Mapa del interfaz gráfico de la aplicación.....	211
Figura 70.	Imagen de la pantalla inicial .....	212
Figura 71.	Imagen mensaje de error .....	212
Figura 72.	Imagen del mensaje de salida del programa.....	213
Figura 73.	Imagen del menú principal.....	214
Figura 74.	Imagen del menú llegada .....	215
Figura 75.	Imagen mensaje validación de usuario .....	215
Figura 76.	Imagen mensaje de modificación estado de usuario.....	216
Figura 77.	Imagen del menú salida.....	217
Figura 78.	Imagen mensaje modificación de registro .....	217
Figura 79.	Imagen personas autorizadas.....	218
Figura 80.	Imagen consultas a realizar .....	219
Figura 81.	Imagen de la lista de alumnos del grupo.....	219
Figura 82.	Imagen menú datos personales del niño .....	220
Figura 83.	Imagen menú datos médicos .....	221
Figura 84.	Imagen menú personas autorizadas a la recogida del niño	221

---

Figura 85.	Imagen ficha datos persona autorizada .....	222
Figura 86.	Imagen listado del grupo.....	222
Figura 87.	Imagen menú asistencia por días .....	223
Figura 88.	Imagen mensaje datos de un día del niño.....	223
Figura 89.	Imagen asistencia mensual niño .....	224
Figura 90.	Imagen del menú de paso de lista individual .....	225
Figura 91.	Imagen paso lista grupal, con éxito.....	226
Figura 92.	Imagen paso lista grupal, aviso niños no detectados.....	227
Figura 93.	Imagen paso lista grupal, niño no detectado .....	227
Figura 94.	Imagen cierre de sesión.....	228
Figura 95.	Escenario de realización de la prueba piloto.....	229
Figura 96.	Monitor realizando pruebas con la aplicación .....	230
Figura 97.	Monitor realizando paso de lista individual .....	230
Figura 98.	PDA y pulseras empleadas en las pruebas .....	231
Figura 99.	Gráfica de la potencia recibida de la pulsera vs distancia..	234
Figura 100.	Nuevo formato de receptor (pulsera) .....	236
Figura 101.	Comparación modelos de receptores .....	237
Figura 102.	Pantalla Menú Principal (Menú Circular) .....	238
Figura 103.	Listado Lejano (izquierda) y cercano (derecha) .....	239
Figura 104.	Pantalla de autenticación.....	239
Figura 105.	Listado de grupos seleccionables .....	241
Figura 106.	Botones de funcionalidades .....	242

Figura 107.	Imagen pantalla llegada (listado cercano) .....	243
Figura 108.	Detección de un niño en un listado cercano .....	246
Figura 109.	Validación de llegada.....	246
Figura 110.	Llegada sin pulsera .....	247
Figura 111.	Pregunta Cancelación Llegada.....	248
Figura 112.	Listado lejano salida .....	249
Figura 113.	Listado personas autorizadas y su ficha .....	251
Figura 114.	Listado cercano ausentes menú pasar lista.....	254
Figura 115.	Acceso al menú pasar lista sin registro de entrada.....	255
Figura 116.	Listado lugares salida momentánea.....	258
Figura 117.	Listado selección niño, uno de ellos en salida momentánea 259	
Figura 118.	Listado selección niño .....	260
Figura 119.	Diferentes pantallas de datos en la ficha individual.....	262
Figura 120.	Ficha: Datos médicos.....	263
Figura 121.	Registro de actividad .....	264
Figura 122.	Pantalla búsqueda niño .....	265
Figura 123.	Selección tiempo radio control .....	266
Figura 124.	Aviso niños no detectados .....	266
Figura 125.	Listado niños perdidos.....	267
Figura 126.	Información niño perdido.....	268
Figura 127.	Búsqueda niños perdidos .....	268

Figura 128.	Reloj.....	269
Figura 129.	Aviso error tarjeta .....	270
Figura 130.	Imagen del interior de la pulsera .....	274
Figura 131.	Logotipo de la aplicación .....	275

# TABLAS

Tabla 1.	Relación entre SIG y LBS.....	24
Tabla 2.	Relación entre preguntas y acciones en servicios LBS .....	31
Tabla 3.	Parámetros del Datum PZ-90 .....	79
Tabla 4.	Comparación de estándares.....	115
Tabla 5.	Tabla comparativa de tecnologías inalámbricas .....	144
Tabla 6.	Tabla Role. Campos .....	182
Tabla 7.	Tabla Usuarios. Campos .....	182
Tabla 8.	Tabla Usuarios. Clave Ajena .....	183
Tabla 9.	Tabla Grupos. Campos.....	183
Tabla 10.	Tabla Grupos. Clave Ajena.....	183
Tabla 11.	Tabla Niños. Campos .....	184
Tabla 12.	Tabla Niños. Clave Ajena .....	185
Tabla 13.	Tabla Datos Médicos. Campos .....	185
Tabla 14.	Tabla Datos Médicos. Clave Ajena .....	185
Tabla 15.	Tabla Autorizados. Campos .....	186
Tabla 16.	Tabla Autorizados. Clave Ajena .....	186
Tabla 17.	Tabla Eventos. Campos.....	187
Tabla 18.	Tabla Eventos. Clave Ajena.....	187
Tabla 19.	Tabla Actividad. Campos .....	188
Tabla 20.	Tabla Pulseras. Campos.....	188



---

Tabla 21.	Tabla que relaciona distancia y potencia .....	203
Tabla 22.	Tabla de costes del proyecto.....	210
Tabla 23.	Tabla resumen de objetivos .....	279
Tabla 24.	Especificación del trabajo desarrollado por el autor .....	286

# ACRÓNIMOS

A2DP	Advanced Audio Distribution Profile
ABAS	Aircraft Based Augmentation System
AENOR	Asociación Española de Normalización y Certificación
AuC	Authentication Center
AVRCP	Audio/Video Remote Control Profile
BBDD	Bases de Datos
BIP	Basic Imaging Profile
BPP	Basic Printing Profile
BSC	Base Station Controller
BSS	Base Station Subsystem
BTS	Base Transceiver Station
CEN	European Committee for Standardization
CIL	Common Intermediate Language .NET
CPU	Central Processing Unit
CSA	Channel of Standard Accuracy
CSIC	Coordinational Scientific Information Center
CTP	Cordless Telephony Profile
CTS	Command Tracking Stations
CHA	Channel of High Accuracy
DAN	Disaster Aid Network

DGPS	Differential Global Positioning System
DNI	Documento Nacional de Identidad
DOP	Dilution Of Precision
DUNP	Dial-Up Networking Profile
ECAC	European Civil Aviation Conference
ED-50	European Datum 1950
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service
EIR	Equipment Identity Register
ETSI	Instituto de Telecomunicaciones Standards Europeo
EWAN	EGNOS Wide Area Network
FAX	Facsímil
FFD	Full-Function Device
FTP	File Transfer Protocol
GAP	Generic Access Profile
GBAS	Ground Based Augmentation System
GEO	Geostationary Earth Orbit
GHz	Gigahertz
GIWU	GSM Interworking Unit
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GMSC	Gateway Mobile Services Switching Center
GNSS	Global Navigation Satellite System
GOEP	Generic Object Exchange Profile

GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile communications
HCRP	Hardcopy Cable Replacement Profile
HFP	Hands-Free Profile
HID	Human Interface Device
HLR	Home Location Register
HSP	Headset Profile
HTML	Hypertext Markup Language
ICAO	International Civil Aviation Organization
IDE	Infraestructura de Datos Espaciales
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
INSPIRE	Infrastructure for Spatial Information in Europe
IP	Intercommunicator Profile
ISM	Industrial, Scientific and Medical
ISO	International Organization for Standardization
ITACA	Instituto universitario de aplicaciones de las tecnologías de la información y comunicaciones avanzadas
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
LADGPS	Local Area Differential Global Positioning System
LAP	LAN Access Profile
LBS	Location Based Services

LIC	Lugar de Interés Comunitario
LOG	Gestión de uso del sistema
MAC	Media Access Control
MCC	Master Control Centre
MEO	Medium Earth Orbit
MHz	Megahertzios
MSAT	Mobile Satellite
MSC	Mobile Services Switching Center
NAVSTAR	Navigation Signal Timing and Ranging
NLES	Navigation Land Earth Stations
NSTB	National Satellite Testbed
NTFS	National Time and Frequency Service
OGC	Open Geospatial Consortium
OPP	Objet Push Profile
OSI	Open System Interconnection
OSS	Operation and Support Subsystem
PAN	Personal Area Network
PCB	Printed Board Circuit
PDA	Personal Digital Assitant
PIN	Personal Identification Number
PRN	Pseudo Random Noise
PZ-90	Parametry Zemli-1990

RFCOMM	Radio Frequency Communication
RFD	Reduced-Function Device
RFID	Radio Frequency Identification
RIMS	Ranging Integrity Monitoring Stations
SAP	SIM Access Profile
SBAS	Satellite-Based Augmentation System
SCC	System Configuration Collector
SD	Secure Digital
SDAP	Service Discovery Application Profile
SDIO	Secure Digital Input Output
SDP	Service Discovery Protocol
SGS-85	Soviet Geodesic System 1985
SIG	Sistema de Información Geográfica
SIM	Subscriber Identity Module
SMS	Short Message Service
SNR	Signal to Noise Ratio
SP	Synchronization Profile
SPP	Serial Port Profile
SQL	Structured Query Language
SVN	Satellite Vehicle NAVSTAR
TCAR	Three-Carrier Ambiguity Resolution
TIC	Tecnologías de la Información y la Comunicación

TSB	Tecnologías para la Salud y el Bienestar
TSF	Test Simulation Fittings
UPV	Universidad Politécnica de Valencia
UTC	Universal Time Coordinated
VLR	Visitor Location Registrar
WAAS	Wide Area Augmentation System
WADGPS	Wide Area Differential Global Positioning System
WAP	Wireless Application Protocol
WC	Wireless Connection
WCS	Web Coverage Service
WECA	Wireless Ethernet Compatibility Alliance
WFS	Web Feature Service
WGS-84	World Geodetic System 1984
WLAN	Wireless Local Area Network
WMS	Web Map Service
WPAN	Wireless Personal Area Network
WWDGPS	Worldwide Differential Global Positioning System
ZC	<i>ZigBee</i> Coordinator
ZED	<i>ZigBee</i> End Device
ZR	<i>ZigBee</i> Router





---

# CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

---

*En este primer capítulo se presenta el núcleo de la investigación cuyo contexto son los servicios y aplicaciones LBS, que han despuntado en estos últimos años. Se pretende realizar un completo análisis de los mismos para conocer su potencialidad y posterior aprovechamiento en la aplicación que se ha desarrollado poniendo en práctica los conocimientos adquiridos a lo largo de esta investigación.*



## 1.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En estos últimos años, junto con el Dr. Quintanilla venimos desarrollando diversos proyectos de investigación, todos ellos relacionados directamente con los distintos sistemas de posicionamiento y dispositivos móviles.

Con el afán por seguir progresando y abriendo nuevas líneas de investigación, encontramos un nuevo concepto en el mundo de la ingeniería cartográfica, los servicios y plataformas LBS (Location Based Services).

Hasta hace unos años, todavía realizábamos nuestros planos a mano, necesitábamos de potentes ordenadores para poder manejar sencillos programas de gestión cartográfica, incluso el posicionamiento, ya fuera más o menos preciso, requería de complicados procesados de datos.

Todo esto, que parece aparcado en el pasado, no debemos olvidar que sucedía hace unos pocos años, y sigue siendo el caballo de batalla en muchos sitios que no disponen de los recursos de los que disponemos nosotros.

Primero fueron los ordenadores, después empezaron a aparecer distintas formas de dispositivos móviles, a esa competencia se sumaron los teléfonos móviles, y hoy en día tenemos libros electrónicos, tabletas y una infinidad de posibilidades a nuestro alcance que casi desconocemos.

Por otra parte, todo este avance de la tecnología ha supuesto que en nuestro vocabulario aparezcan nuevas palabras, que usamos con una facilidad fascinante, cuando hace solo unos años, el nombrarlas ya era fascinante. Hemos generalizado la palabra GPS, para referirnos al posicionamiento; qué más da si me lo proporcionan americanos, rusos o esperemos que algún día europeos, chinos, indios...

Hemos convivido en unos pocos años con todos estos cambios, y hemos evolucionado con ellos. De esa necesidad de seguir avanzando, creando,

desarrollando y creciendo con los tiempos en los que nos movemos surgió la idea de esta investigación.

Encontramos la necesidad de involucrarnos en este nuevo mundo de posibilidades que nos ofrecen las nuevas tecnologías que avanzan a pasos agigantados. Consideramos necesario e importante ser capaces de abrir un hueco, aunque sea pequeño, para nuestra rama del conocimiento.

Por lo tanto, comenzamos a estudiar estos nuevos sistemas (LBS), analizar sus posibilidades, entrando en campos que quizás estén más cerca de otro tipo de estudios. Descubrimos que existía esa posibilidad y nos embarcamos en este proyecto.

Evidentemente y como es común a nuestra rama del conocimiento, debíamos pensar en un proyecto que englobara a otras ciencias y disciplinas. Y de ahí, hablando con gente cercana, con otros investigadores, surgió la idea que ha ido dando forma a esta investigación.

Entendimos que sería bonito, poder poner al servicio de la Universidad nuestros conocimientos, si bien es cierto, que la mayoría de las veces despersonalizamos todos nuestros trabajos y pensamos solo en aplicaciones, estadísticas y números. Y de la amistad que nos une, y las inquietudes que planteamos surgió el proyecto que acompaña a esta investigación.

Se planteó desarrollar una aplicación que ayudara a la Escola d'Estiu de la Universidad Politécnica de Valencia, a gestionar y localizar a sus usuarios, teniendo en cuenta que estos son niños de entre 4 y 17 años, en colaboración con el Instituto ITACA.

Y este es el punto de partida, el origen de todo este trabajo y el inicio de una nueva vía de trabajo e investigación en nuestro campo del conocimiento.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DE OBJETIVOS

Actualmente la Escola d'Estiu de la Universitat Politècnica de València maneja unas cifras elevadas de participación en las actividades que desarrolla a lo largo de todo el año. La mayor participación se produce en las actividades del mes de julio, con una participación que ronda los 2.000 niños.

Estas cifras suponen una situación de permanente control por parte de los monitores. Por ello, la Escola d'Estiu de la Universitat Politècnica de València, junto con el departamento TSB del Instituto ITACA, y su *spin-off* Soluciones-TSB han desarrollado una solución para la gestión y localización de los niños matriculados en esta actividad.

La necesidad de la Escola radica en tener un sistema que permita la localización automática de los niños, así como la gestión rápida y efectiva de los procesos de llegada y salida, y toda la información relacionada con las actividades y los niños.

El funcionamiento actual de la Escola en cuanto a la gestión de los datos personales y asistenciales de los niños consiste en el uso de hojas impresas con los datos de los mismos. Así, en el momento de la llegada de los niños, uno de los monitores debe buscar su nombre y marcarlo en el papel. Del mismo modo debe actuar para consultar sus datos personales, así como la persona autorizada a recogerlo en el momento de marcar la salida. En este punto nace la necesidad de gestionar los datos de una manera más eficaz, de modo que se pueda acceder a la información de cualquier niño de manera rápida y sencilla.

El desarrollo de esta investigación se encuentra enmarcada en el ámbito de trabajo de la Escola d'Estiu de la UPV. Se trata de una organización encargada de ofrecer a los padres la oportunidad de completar la formación de sus hijos a través de una gran cantidad de actividades, como talleres, excursiones, juegos, y deporte. Y aunque en un primer momento se pueda pensar que las actividades de esta entidad se reducen a la época estival, nada más lejos de la realidad: Desde enero hasta diciembre, durante los doce meses del año, los responsables de l'Escola d'Estiu de la UPV trabajan

para ofrecer a los más pequeños una alternativa, divertida y llena de aventuras, al día a día del curso escolar.

Dentro de este marco, aparece la necesidad de la Escola de poder gestionar el control de los niños de una manera eficaz y segura, que suponga el mínimo obstáculo posible para la realización del trabajo de los monitores. Por ello, el objetivo principal de esta investigación es:

- Diseñar un sistema, de bajo coste y bajo consumo, que permita la localización de usuarios en espacios abiertos, así como la gestión de los datos relativos a todo este proceso.

Dentro del desarrollo del sistema se han fijado una serie de objetivos específicos que permitan alcanzar el objetivo principal, y que se estructuran en los siguientes puntos:

- Realizar un estudio del arte de los sistemas y tecnologías que se han utilizado hasta el momento para desarrollar aplicaciones de este tipo.
- Identificar una arquitectura de capas que permita estructurar el sistema en conjunto, así como permitir la ampliación del mismo en caso necesario.
- Identificar el método de trabajo de los monitores de la Escola d'Estiu, y los puntos de mejora que debe ofrecer el sistema en el desarrollo de su actividad, incidiendo en la sencillez de uso y en la eficacia del mismo.
- Evaluar las capacidades del sistema, entendiendo por éstas, la correcta comunicación entre emisor y receptor, escalabilidad, latencia de recepción y distancia máxima de funcionamiento.
- Validar y verificar una prueba piloto en la que se demuestre que el sistema permite la localización y gestión de los datos de forma eficiente.

## 1.3 ESTADO DEL ARTE

El sistema utilizado en el desarrollo de esta solución se encuentra dentro de la definición de Servicios Basados en Localización (LBS) [1] y [2] ya que se trata de un sistema automático que monitoriza la localización de los elementos activos, en este caso pulseras que emiten un código de identificación unívoco y que también nos ofrece el posicionamiento de los usuarios.

Entre las diversas tecnologías que se utilizan para el desarrollo de este tipo de sistemas destacan RFID tradicional y RFID basado en WLAN [3], GPS/GPRS [4], GSM [5], las cuales presentan diferentes características que las hacen más apropiadas dependiendo de las especificaciones del sistema a implementar.

### 1.3.1 TECNOLOGÍAS

En este apartado se describen superficialmente las características de cada una de las tecnologías que vamos a estudiar, sin analizar las ventajas que aportan en las necesidades de este proyecto. Este análisis más en profundidad lo realizaremos en apartados posteriores, cuando procedamos a ocuparnos en detalle de cada una de ellas para ver qué posibilidades nos ofrecen a la aplicación que hemos desarrollado.

#### 1.3.1.1 LBS/GIS

---

Los Servicios Basados en Localización (LBS) son capaces de proporcionar servicios personalizados a los usuarios dependiendo de la posición en la que el usuario se encuentre en ese momento usando los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS) [6] y [7], y las nuevas tecnologías de comunicación inalámbricas (WC) [8].

Todas estas nuevas tecnologías generan un entorno de trabajo ideal para interactuar entre ellas y favorecer el desarrollo de las mismas, generando a su vez una gran cantidad de posibilidades. Una de estas posibilidades es la interacción con los Sistemas de Información Geográfica (SIG) [9], que nos facilitarán la puesta en práctica de muchas de nuestras herramientas y

soluciones, al dotarnos de esa interfaz gráfica y geográfica tan necesaria [10], [11], [12] y [Figura 1].

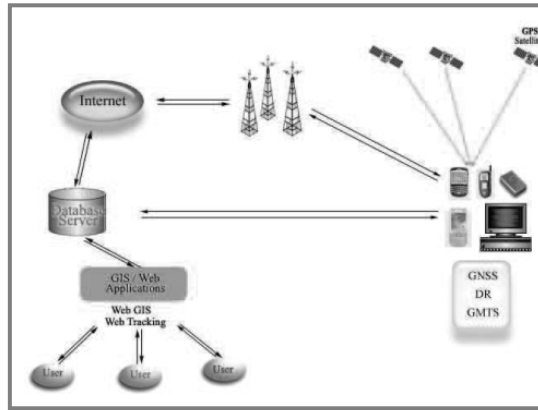


Figura 1. Combinación GNSS - LBS - SIG - WC

### 1.3.1.2 GPS/GPRS

Consiste en un dispositivo que recoge datos GPS/GNSS [13] recibidos de los satélites, y periódicamente envía datos a través del GPRS [Figura 2]. La periodicidad y el modo de envío por GPRS pueden variar. De hecho, se puede tener una sesión GPRS permanentemente abierta o enviar periódicamente SMS con la situación [14].

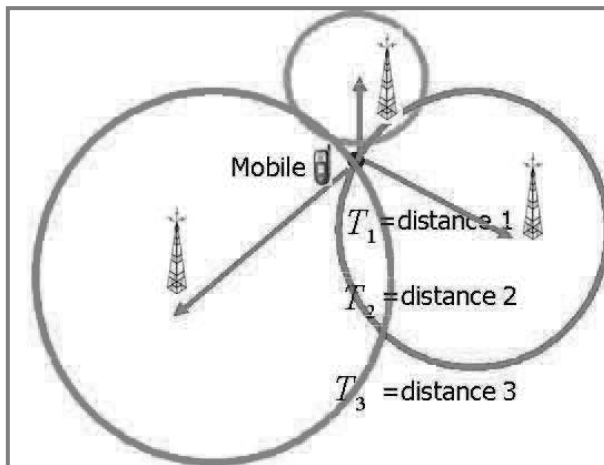


Figura 2. Comunicación y posicionamiento vía GPRS



### 1.3.1.3 RFID TRADICIONAL

Esta tecnología aplicada a la localización funciona del siguiente modo: El usuario posee un dispositivo cliente RFID, se colocan dispositivos lectores de tarjetas RFID, y cada vez que el usuario pase por al lado se notifica a la central. Es un sistema principalmente conveniente para localización en interiores [15] y [Figura 3].

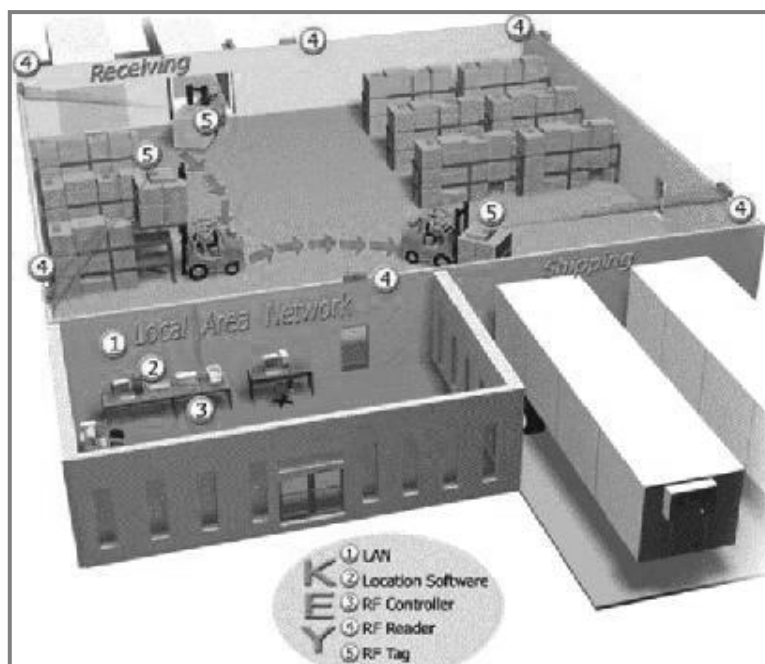


Figura 3. Ejemplo de localización de interiores por RFID

### 1.3.1.4 RFID BASADO EN WIRELESS

En el mercado existen servicios y aplicaciones LBS basadas en Wi-Fi. Básicamente es un sistema de posicionamiento que emplea puntos de acceso Wi-Fi para triangular la posición de un cliente Wireless [Figura 4]. Las tecnologías Wi-Fi empleadas pueden ser Bluetooth y también 802.11. Y su principal ventaja sobre el sistema anterior es que no tiene por qué estar cerca del lector para localizar, por tanto, es un sistema pasivo desde el punto de vista del usuario [16].

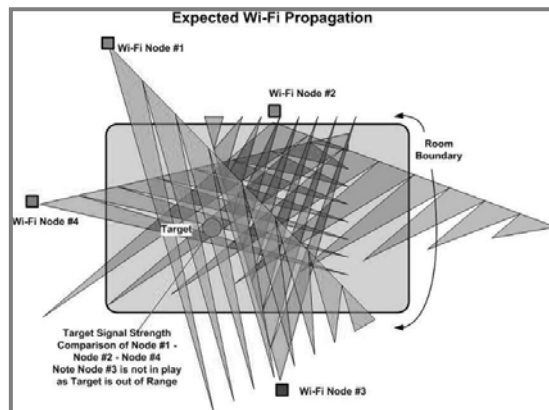


Figura 4. Sistema de posicionamiento por WI-FI

### 1.3.1.5 GSM

Las operadoras de móviles también ofrecen servicios de localización, que determinan con una precisión más bien baja la situación del individuo. Para la localización se emplean tiempos de llegada, ángulos de llegada, o triangulación. Es un sistema con una escasa precisión de 200 metros en ciudad, 2 km. en áreas suburbanas, y hasta 3 o 4 km. en áreas rústicas. Por lo que no tiene demasiadas aplicaciones salvo casos muy particulares.

### 1.3.1.6 ZIGBEE

El protocolo *ZigBee* para comunicación de datos de transmisión lenta opera en la misma zona sin licencia (2,4 GHz) que WI-FI y Bluetooth del espectro de radio, encajando perfectamente bajo Bluetooth en el continuo de potencia/velocidad de transmisión de datos. *ZigBee* también especifica las bandas sin licencia 915 MHz y 868 MHz de baja frecuencia, disponibles en América y Europa, respectivamente.

*ZigBee* ofrece 16 canales a 2,4 GHz y soporta una velocidad máxima de transmisión de 250 Kbps, y aparte de sus robustas características de seguridad, permite muchos nodos y soporta interoperabilidad e independencia de los distribuidores.

Además, incorpora características que permiten un rendimiento sobresaliente con un consumo de energía relativamente bajo.

### **1.3.1.7 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 globalmente libre (2,4 GHz.). Posee una velocidad de hasta 1 Mbps por lo que se usa para aplicaciones como los teléfonos móviles y la informática casera.

Su principal inconveniente es que un sistema Bluetooth está continuamente emitiendo y recibiendo (no puede suspenderse momentáneamente), con lo que se produce un gasto innecesario de batería.

### **1.3.2 EXPERIENCIAS SIMILARES**

A continuación vamos a destacar dos experiencias similares a la solución que buscamos, sobre todo por la índole de los participantes, ya que se trata de parques de ocio, aunque cabe destacar que la trazabilidad de nuestra solución es diferente debido al tratamiento de datos personales que debemos realizar, junto con el posicionamiento. Vamos a destacar los casos de Legoland y Kindercity.

- En Legoland [Figura 5] existe una infraestructura para localizar a los niños mediante una versión Wi-Fi de RFID. La técnica consiste en ponerle al niño una pulsera que emite en 2.4 GHz y mediante triangulación poder localizarlo. Una de las funcionalidades consiste en que el padre puede enviar un mensaje SMS en cualquier momento, por lo que recibirá una respuesta con la localización actual del niño. Legoland eligió esta tecnología para su parque, tras haber examinado y descartado el uso de otros sistemas más tradicionales de RFID, debido a la alta inversión necesaria en este tipo de sistemas [17].



Figura 5. Parque Legoland en Alemania

- En el caso de Kindercity, el parque de ocio más importante de Suiza, se agilizan los procesos llevados a cabo en el parque. Para ello se marca a los niños con una pulsera RFID [Figura 6] distintiva de manera que, además de permitir su localización, cada vez que se acercan a una atracción en particular, ésta es activada identificándoles y cobrando automáticamente el precio de la entrada a su cuenta particular, al estilo de las tarjetas-monedero [18].



Figura 6. Pulsera empleada en Kindercity

Por otra parte podemos citar otro tipo de experiencia diametralmente opuesta, pero que nos abre un mundo de nuevas posibilidades, ideas y soluciones que estudiaremos más adelante.

En la segunda conferencia internacional de sensores (*Conference on Sensor Technologies and Applications*, Cap Esterel, France, 2008) se presentó una red DAN (*Disaster Aid Network*) encargada de la monitorización de pacientes, y su clasificación según su estado de gravedad en una catástrofe [19].

Esta red consiste en cientos de nodos distribuidos en la zona del desastre, e intercomunicados a través de tecnología *ZigBee*, en la frecuencia de 2,4 GHz. Estos nodos se dividen en los siguientes tipos:

- **Nodo del Paciente:** Se trata de un *tag* electrónico, que muestra la localización y posee sensores de actividad vital.
- **Nodo del Doctor,** que permite su localización dentro del marco de la catástrofe.
- **Nodo de la Estación Monitor:** Este nodo posee, además, una aplicación software que permite la visualización de la zona del desastre, y permite coordinar las labores de los servicios de emergencia.
- **Nodos Router:** se conoce su posición y se encargan de monitorizar las condiciones ambientales, como son la temperatura o el oxígeno.
- **PDA del Doctor:** en ella se muestran los datos médicos de los pacientes, que son recogidos por los sensores descritos anteriormente.

Gracias a la monitorización, en tiempo real, de todos estos parámetros, se consigue clarificar el trabajo de los servicios de emergencia, de modo que puedan desarrollar su labor de un modo mucho más eficiente.

Como se ha comentado anteriormente, la tecnología *ZigBee* está teniendo relevante importancia en el campo de la localización de objetos de forma inalámbrica y con un consumo bajo de energía.

Entre muchas de las aplicaciones desarrolladas hasta el momento, podemos citar el cálculo de la distancia exacta entre dos dispositivos IEEE 802.15.4

(*ZigBee*). Este sistema, consiste en dos chips *ZigBee* de bajo coste, que emiten a 2.45 GHz, y mediante la transmisión de paquetes estándar de comunicación, se puede calcular la distancia a la que se encuentran dichos nodos con una desviación de menos de 1 cm [10].

Pero las aplicaciones de *ZigBee* no sólo se reducen a la simple localización de objetos y personas en un escenario concreto. Sus posibilidades van mucho más allá, como ya hemos podido observar.

## 1.4 CONTENIDO Y ESTRUCTURA DE LA TESIS

Con la finalidad de alcanzar los objetivos planteados en la presente tesis doctoral, que han motivado su realización, se han abordado diferentes disciplinas, atendiendo a:

- El estudio de las tecnologías desarrolladas hasta este momento en aplicaciones similares o cercanas.
- La evaluación del sistema a emplear así como su desarrollo y fase de pruebas, para poder optimizar los recursos a nuestro alcance.
- La validación de un modelo piloto, de las capacidades del sistema desarrollado, así como el cumplimiento de los requerimientos del usuario final.

El capítulo 1 introduce, contextualiza, justifica y motiva el presente proyecto. En el realizamos una breve introducción para posteriormente profundizar en cada uno de los siguientes capítulos cada una de la áreas específicas del proyecto.

El capítulo 2 contiene los conceptos básicos para poder desarrollar el proyecto que hemos llevado a cabo. En el analizamos con mayor o menor profundidad, en función de su afinidad con el proyecto, cada uno de los conceptos, ciencias y técnicas que hemos trabajado a lo largo del proyecto.

El capítulo 3 desarrolla la metodología que se ha seguido en la elaboración del proyecto. Como se han recopilado los datos necesarios para desarrollar la aplicación y cuáles han sido las decisiones más significativas a la hora de decantarnos por una u otra tecnología.

En el capítulo 4 se desarrolla la aplicación en su primera fase de desarrollo y posteriormente se presenta la segunda versión, donde se corrigen y mejoran las deficiencias o carencias detectadas en la primera versión. Se realiza un completo análisis de la aplicación mostrando todas y cada una de sus funcionalidades.

En el capítulo 5 se realiza una revisión de los objetivos expuestos al comienzo de este proyecto. Analizamos uno a uno los mismos y

comprobamos si hemos cumplido con las expectativas planteadas al principio. En la segunda parte del capítulo se plantean las posibles líneas de desarrollo futuro y se plantean nuevas alternativas para seguir desarrollando el proyecto.

El capítulo 6 presenta la divulgación del conocimiento adquirido mediante la publicación de artículos científicos y asistencia a congresos desarrollados por el autor durante los años en los que ha trabajado en el presente proyecto. Así como la patente resultado de las investigaciones desarrolladas.

El capítulo 7 detalla las fuentes bibliográficas y documentales que han sido consultadas para la realización de esta tesis doctoral.





---

## **CAPÍTULO 2. CONCEPTOS GENERALES**

---

*Los servicios LBS vienen marcando tendencia en nuestra sociedad en los últimos años. Es por ello que debemos realizar un profundo análisis de los mismos para poder aplicar en nuestro posterior trabajo todo su potencial y sus ventajas. Del mismo modo analizaremos una serie de conceptos y tecnologías que vamos a emplear durante nuestra investigación y que consideramos importantes por las aportaciones que pueden realizar a nuestro trabajo.*





## 2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se va a realizar un completo y profundo análisis de las diferentes disciplinas que intervienen en el presente trabajo.

Conoceremos las principales características de cada una de ellas, para que se emplean, que beneficios nos aportan, que posibilidades encontramos en ellas y que posibilidades nos podrán aportar en un futuro.

Todo ello con el objetivo de obtener el mayor aprovechamiento y rendimiento para la aplicación que vamos a desarrollar. En todo este desarrollo quizás hablemos de cuestiones triviales u obvias, pero no por ello menos importantes o susceptibles de ser ignoradas o descartadas.

## 2.2 SERVICIOS LBS

Internet y los teléfonos móviles han revolucionado la comunicación, y con ello nuestro estilo de vida. Desde hace unos años hemos descubierto dispositivos móviles con acceso a Internet, empezaron las PDA, le siguieron los teléfonos móviles y hoy en día las tabletas. Este acceso nos permite conectarnos a Internet donde y cuando queramos (cada vez con menos restricciones). En cualquier momento podemos obtener información sobre eventos (cine, conciertos, fiestas) y por otra parte información de lugares (ciudades, mapas, restaurantes, hospitales).

Vamos a considerar un sencillo ejemplo. Una persona quiere ir a cenar a un restaurante. Si busca esa información en Internet deberá acotar los datos, por ejemplo la cercanía, el horario y el tipo de restaurante.

Pues este tipo de búsqueda con respecto a la posición y el momento se pueden llevar a cabo gracias a los Sistemas LBS.

Veamos algunas definiciones y pasemos a comentarlas.

LBS son servicios de información accesibles con dispositivos móviles a través de una red móvil, utilizando la habilidad de hacer uso de la localización del dispositivo móvil [20].

Un servicio Wireless que usa la información geográfica para servir a un usuario móvil. Cualquier aplicación que emplee la posición de un dispositivo móvil [21].

Estas definiciones nos describen los servicios LBS como la intersección de tres tecnologías [Figura 7]: Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), las telecomunicaciones, sus dispositivos y sus sistemas (Internet) y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) [22].

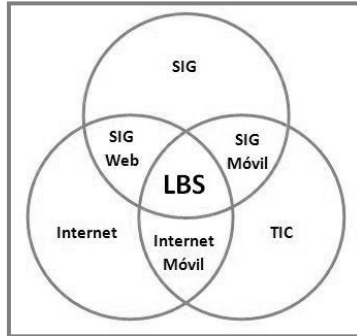


Figura 7. Intersección de tecnologías

Desde un punto de vista histórico, los servicios LBS no son un invento nuevo que vienen de la mano de los teléfonos móviles [23]. En la vida cotidiana encontramos muchos ejemplos que relacionan directamente la información y la posición. Estatuas en los parques, puntos de interés turísticos, o señales de tráfico.

En este sentido la información solo fluye en una dirección, y es aquí donde los servicios LBS tienen su clave, en este tipo de servicios la información fluye de manera bidireccional. El usuario le pide al proveedor una serie de necesidades en función de su contexto y éste le devuelve la información adecuada al mismo.

## 2.2.1 QUÉ SON LOS SERVICIOS LBS

A continuación veremos algunas de las principales características de los servicios LBS. Trabajaremos la relación existente entre estos servicios y los sistemas de información geográfica, trataremos algunas palabras clave que nos ayudaran a entender todo el proceso y por último veremos diferentes tipos de servicios LBS.

### 2.2.1.1 RELACIÓN EXISTENTE ENTRE LOS SIG Y LOS LBS

En la figura vista en el apartado anterior podemos observar que existen ciertas relaciones entre los SIG y los LBS. Las principales son el tratamiento de los datos en relación a la posición que ocupan y las diferentes funciones

de análisis espacial que podemos aplicar y que dan respuesta a preguntas como:

- ¿Dónde estoy?
- ¿Qué hay cerca de aquí?
- ¿Dónde puedo ir?

Pero los servicios LBS y SIG tienen diferentes orígenes y diferentes grupos de usuarios como se describe en *Developing GIS. Supported Location* [24]. Por una parte los SIG vienen desarrollándose durante décadas, trabajando bajo aplicaciones profesionales y con una gran cantidad de datos geográficos mientras que los servicios LBS nacieron relativamente hace poco tiempo y su evolución ha girado en torno a los servicios públicos.

Con respecto a los grupos de usuarios, podemos hablar que los SIG son empleados, manejados y desarrollados por usuarios “profesionales”, es decir, usuarios con experiencia en este tipo de campos y con unos conocimientos profesionales básicos. Además este tipo de servicios normalmente requieren de unos recursos de procesado y computación elevados. En cambio, los servicios LBS normalmente se desarrollan como servicios limitados para grandes grupos de usuarios “no profesionales”. Este tipo de aplicaciones vienen funcionando bajo las restricciones de la telefonía móvil, un entorno de procesamiento bajo, pantallas pequeñas, duración de la batería del dispositivo, etc.

	SIG	LBS
<b>Evolución</b>	Durante varias décadas	Últimos años
<b>Grupos de usuarios</b>	Usuarios experimentados	Cualquier tipo de usuario
<b>Funcionalidad</b>	Amplia versatilidad	Funcionalidad limitada
<b>Requerimientos</b>	Recursos de procesado y computación elevados	Restricciones debida a los dispositivos móviles

Tabla 1. Relación entre SIG y LBS



### 2.2.1.2 PARTES DE UN LBS

Si el usuario final quiere utilizar una aplicación o servicio LBS, son necesarios diferentes elementos de infraestructura [Figura 8].



Figura 8. Partes de un servicio LBS

#### 2.2.1.2.1 DISPOSITIVO MÓVIL

Es la herramienta que utiliza el usuario para solicitar la información. Los resultados pueden ser recibidos mediante voz, imágenes, texto u otras formas. Actualmente la evolución de estos dispositivos hace que cualquier terminal con más de años antigüedad sea casi totalmente obsoleto. Debemos cuidar este aspecto a la hora de plantear un trabajo a largo plazo.

#### 2.2.1.2.2 RED DE COMUNICACIONES

Es el segundo componente. Mediante este tipo de redes se transfiere la información y los datos entre el usuario y el proveedor e inmediatamente es devuelta la respuesta o información requerida. Es una comunicación bidireccional.

#### 2.2.1.2.3 POSICIONAMIENTO

Generalmente para el tratamiento de un servicio LBS, la posición del usuario debe ser conocida. Esta posición del usuario se puede determinar de diferentes formas, mediante la red de comunicación o mediante un sistema de posicionamiento global. Otras posibilidades son las estaciones

WLAN o las balizas de radio. Hay métodos más apropiados para localizaciones en exteriores y otros para localizaciones en interiores. Más adelante trabajaremos en profundidad los que más nos interesan. También podría existir la posibilidad que el usuario determine su posición manualmente.

#### 2.2.1.2.4 PROVEEDOR DEL SERVICIO

---

El proveedor ofrece al usuario una serie de diferentes servicios, de los cuales es responsable en la tramitación del servicio. Estos servicios suelen ofrecer el cálculo de la posición, la búsqueda de una ruta, búsquedas en páginas Web de determinados contenidos respecto a nuestra posición o búsqueda de interés respecto a determinados objetos. Los proveedores de servicios no suelen almacenar y mantener toda la información que generan en función de la demanda de los usuarios. La información de datos geográficos y de localización se suele solicitar a bases de datos genéricas o socios de negocios, por ejemplo, páginas amarillas.

#### 2.2.1.3 PALABRAS CLAVES EN SERVICIOS LBS

---

Los servicios LBS viene definidos por una serie de palabras clave y cuestiones relacionadas que nos vas a ayudar y orientar en su descubrimiento.

- **Usuario en movimiento:** ¿Qué o quién se mueve? Podría ser una persona, un objeto, un dispositivo. Esto viene definido en *Mobile Cartography - Adaptive Visualisation of Geographic Information on Mobile Devices* [25].
- **Actividades en movimiento:** ¿Qué problemas o preguntas tienes los usuarios? Estas preguntas surgen o se crean por las acciones que llevan a cabo los usuarios: localización, navegación, búsqueda, identificación, control de eventos, etc. Otra cuestión que nos surge al respecto del ámbito (espacial) donde nos movemos, según [25] podríamos distinguir entre tres tipos de entornos:

1. Macro escala: necesito un resumen de toda la información

2. Meso escala: cuál de toda esa información es accesible para mi
3. Micro escala: donde me encuentro

- **Información:** Es lo que necesita para responder a la pregunta del usuario y cómo se hace. Es necesario un modelo de recuperación de la información [Figura 9] para responder a sus preguntas. Normalmente este tipo de información consta de un modelo con posibles preguntas, define las consultas de los datos en la base de datos geográficos y especifica las posibles respuestas. En la siguiente figura podemos observar un ejemplo acerca de si un usuario pregunta por las posiciones de tiendas o restaurantes cercanos a su posición.

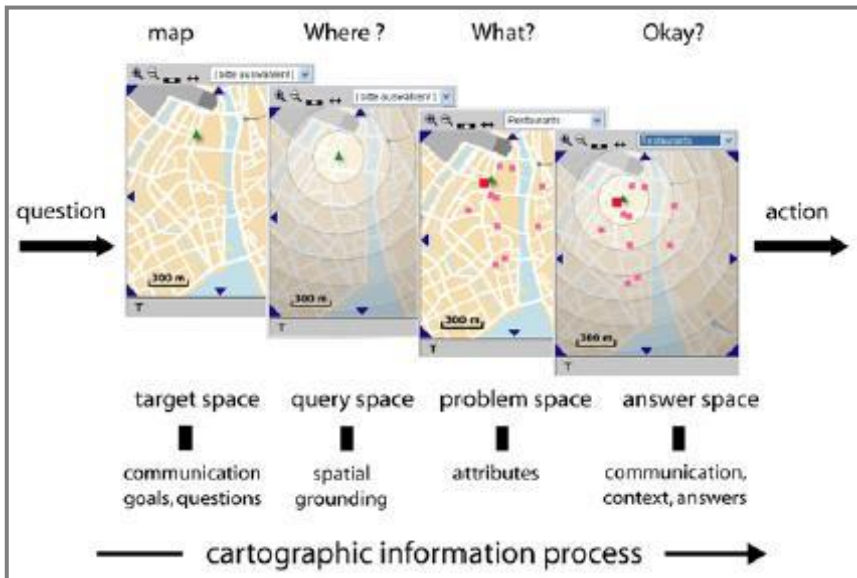


Figura 9. Modelo de información en un proceso LBS

- **Búsqueda y análisis espacial:** Debemos analizar qué métodos y algoritmos son necesarios para llevar a cabo un análisis en tiempo real a través de Internet y con datos espaciales. Otros aspectos a tener en cuenta en cómo integrar diferente información con diferentes escalas, calidad, tipos, precios... y por supuesto no deberemos olvidar si los datos donde consultamos siguen disponibles y están actualizados.
- **Interface de usuario:** Debemos tener en cuenta el interface que presentamos al usuario final, como le formularemos las necesidades

para realizar las operaciones correctas y además que sea lo más sencillo posible.

- **Visualización:** Aquí hablamos de cómo devolvemos la información al usuario final, en texto, en imágenes, combinando ambas o por otros canales. Todo esto lo debemos tener en cuenta a la hora de crear nuestro LBS.
- **Tecnología:** Quizás hoy en día a la velocidad que avanza todo, sea uno de los aspectos fundamentales. No podemos permitirnos el lujo de crear algo que va a quedar desfasado en unos pocos meses. Debemos actualizarnos y avanzar junto con las tecnologías.

Más adelante trabajaremos un poco más en profundidad estos aspectos.

#### **2.2.1.4 SERVICIOS PUSH AND PULL**

---

En general podemos distinguir dos tipos de servicios LBS, teniendo en cuenta si la información se entrega en el momento de la interacción con el usuario o en cualquier otro momento.

##### **2.2.1.4.1 SERVICIOS PUSH**

---

En este tipo de servicios se entrega la información directamente solicitada por el usuario. El funcionamiento es similar a introducir la dirección de un sitio Web en el navegador y recibir la información correspondiente. Un ejemplo de este tipo de servicios sería por ejemplo la búsqueda de un restaurante cercano a mi posición (servicios de información) o por ejemplo pedir un taxi (servicio funcional).

##### **2.2.1.4.2 SERVICIOS PULL**

---

Los servicios pull, entregan la información que directa o indirectamente son solicitados por el usuario. Estos servicios normalmente son activados por un evento, desencadenado por una posición o por un temporizador. En ejemplo de servicio de forma indirecta es un servicio de suscripción de noticias que contiene la información de un evento con respecto a una posición. Otro por ejemplo podrían ser mensajes publicitarios en un área

específica de un centro comercial u otro, mensajes de advertencia si las condiciones meteorológicas de la zona donde te encuentras van a variar.

En este tipo de servicios no se está obligado a proporcionar una respuesta inmediata y además las necesidades y preferencias del usuario deben ser detectadas por el sistema, lo cual es más complicado.

## 2.2.2 PARA QUE PUEDO UTILIZAR LOS SERVICIOS LBS

A continuación veremos diversas aplicaciones que podemos dar a los servicios LBS, para ellos necesitaremos distinguir entre las actividades del usuario y las demandas, deberemos ser capaces de describir los servicios disponibles en cuanto al campo de aplicación, las necesidades y si su uso es interior o exterior.

### 2.2.2.1 INTRODUCCIÓN

La idea fundamental de un servicio LBS responde a unas sencillas cuestiones. Debemos cumplir con las necesidades del usuario en materia de información con el fin de ser un servicio de utilidad. Estas sencillas preguntas podrían ser [Figura 10]: ¿Dónde estoy? ¿Dónde están mis amigos? ¿Qué hay a mí alrededor?



Figura 10. ¿Dónde estoy? ¿Dónde están mis amigos? ¿Qué hay a mí alrededor?

Quando una persona se encuentra en un entorno con el que no está familiarizado, su comportamiento y sus necesidades son en gran medida predecibles, ya sea en su propio país o en el extranjero, moviéndose a pie o en vehículo. La gente tiene que encontrar un lugar para comer, un lugar

para obtener dinero, tal vez una farmacia, una parada de taxis y así sucesivamente. En el extranjero añadimos requisitos adicionales, como la búsqueda de sitios de interés turístico o localizar un hotel. Si conducimos necesitaremos localizar una ruta que nos lleve a un determinado lugar, saber dónde encontrar una gasolinera o un taller. Hoy en día nos podemos ahorrar mucho tiempo y dinero realizando este tipo de acciones mediante servicios LBS.

A continuación aclararemos algunas acciones típicas de los usuarios y qué tipo de información, por lo tanto es necesaria. También comentaremos algún ejemplo para poder ver más de cerca este tipo de aplicaciones.

### **2.2.2.2 ACCIONES DEL USUARIO Y OBJETIVOS**

---

Una actividad es una secuencia de acciones llevadas a cabo por el ser humano encaminado a lograr un objetivo determinado, según [26]. Este objetivo podría ser el resolver un problema o una tarea. En una situación de movilidad el objetivo podría ser orientarse, la búsqueda de personas o encontrar algún objeto.

Las actividades durante el movimiento, a menudo relacionan las acciones con el espacio en el que se desarrollan. Estas acciones se derivan de las preguntas o deseos del usuario. La pregunta más obvia es saber donde se encuentra el propio usuario (localización). Los propios usuarios pueden buscar como ya hemos visto personas, objetos, acontecimientos (búsqueda) y pueden preguntar por el camino a seguir hacia esa búsqueda (navegación). También puedes informarte por las características de determinados lugares (identificación) o simplemente el comprobar determinados eventos o lugares (control).






	Localización	Navegación	Búsqueda	Identificación	Control
					
<b>Obtener orientación</b>	X			X	X
<b>Buscar objetos o personas</b>	X		X		
<b>Buscar ruta óptima</b>		X			
<b>Información de un objeto</b>				X	
<b>Visión global periférica</b>	X			X	X
<b>Estado de los objetos</b>				X	X
<b>Información de eventos</b>					X

Tabla 2. Relación entre preguntas y acciones en servicios LBS

Estas acciones básicas que hemos visto vienen definidas por [25] y son localización, navegación, búsqueda, identificación y control. Cuando hablamos de control, no solo se utiliza la información geográfica, sino que también implica el tiempo ya que se refiere al estado de los eventos o entidades.

#### 2.2.2.2.1 INFORMACIÓN PARA BUSCAR, IDENTIFICAR Y CONTROLAR

Las dos acciones básicas de localización y navegación se basan principalmente en la información geoespacial. Búsqueda, identificación y control sin embargo, necesitan una gran cantidad de información diferente. Además de la información geoespacial también se necesita otro tipo de información.

- **Información estática:** principalmente contenidos como páginas amarillas. Dicha información se mantiene constante durante un tiempo y

por supuesto, también podría ser recuperada a través de otros medios de comunicación.

- **Información actual:** es un tipo de información que puede variar mientras el usuario está en movimiento. En este caso, la información revisada de otros medios, puede no ser válida. Un claro ejemplo sería la información del tráfico, las previsiones meteorológicas. Además de esta información actualizada el usuario necesitará saber cómo proceder en la situación que varió al variar la información.
- **Información de seguridad:** toda aquella relacionada con hechos en los que la salud pueda estar en juego. Por ejemplo, ayuda en carretera, cambios bruscos de meteorología en montaña.
- **Información personal:** con demasiada frecuencia, los usuarios son meros consumidores de información pasiva. Sin embargo, si se permite que los usuarios interactúen con la información, se podrían mejorar muchos servicios con aportes y opiniones personales.

En general los usuarios prefieren mantener el control sobre el contenido de la información, la recepción y la seguridad. De la seguridad hablaremos más adelante.

### 2.2.3 CATEGORÍAS LBS

En la actualidad existe una amplia gama de servicios LBS diferentes. A continuación vamos a trabajar una amplia clasificación donde veremos las principales categorías de aplicaciones LBS y algunos ejemplos. En estas categorías observaremos una serie de gráficos que relacionan la precisión necesaria, el entorno y el tipo de servicio (*push* o *pull*). Evidentemente al ritmo actual de crecimiento de este tipo de servicios este listado se va incrementando. Y por otra parte debemos tener en cuenta que esto no deja de ser una clasificación y que podemos encontrar muchas otras con diferentes criterios, como ocurre en [27].

Las diferentes categorías difieren en la precisión necesaria el entorno en el que se utilizan y el tipo de servicio proporcionado.



### 2.2.3.1 SERVICIOS DE EMERGENCIA

Una de las aplicaciones más evidentes de los servicios LBS es la capacidad de localizar a una persona, que conociendo o no su ubicación se encuentra en una situación de emergencia (lesión, accidente, etc.) [Figura 11]. Por ejemplo en un accidente de tráfico, un conductor puede saber la carretera en la que se encuentra pero no el kilómetro exacto. Averiguando la ubicación exacta, ésta se transfiere a los servicios de emergencia que podrán actuar con mayor celeridad.

Esta categoría incluye los servicios de asistencia públicos y privados, aunque generalmente los servicios públicos son regulados por los organismos competentes.

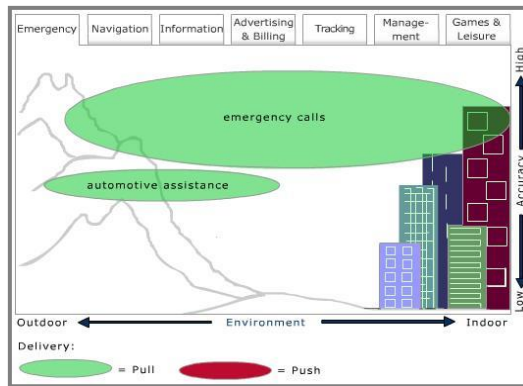


Figura 11. Gráfica ejemplo servicios LBS de emergencia

Un claro ejemplo en este tipo de servicios serían las llamadas de emergencia. El servicio prestado por el 112 sería un claro ejemplo de este tipo de aplicaciones, donde se coordinan las actuaciones frente a cualquier tipo de emergencia dentro de la Unión Europea y otros países. En Estados Unidos el número de teléfono que presta este servicio es el 911.

Otra aplicación que encontramos en este grupo son los servicios de asistencia en carretera y antirrobo [Figura 12] que prestan determinadas marcas de vehículos a sus usuarios.

En el caso de una avería del coche o de una emergencia, el conductor puede llamar directamente a través del ordenador de a bordo al servicio de

emergencia y transmitir su posición real. Algunos sistemas ya prevén incluso una transmisión del análisis de los errores de los sistemas de a bordo. Otros sistemas prevén la transmisión de la posición real del vehículo en caso de robo. Es sólo una cuestión de tiempo que todos estos sistemas se encuentren disponibles para todos los automóviles.

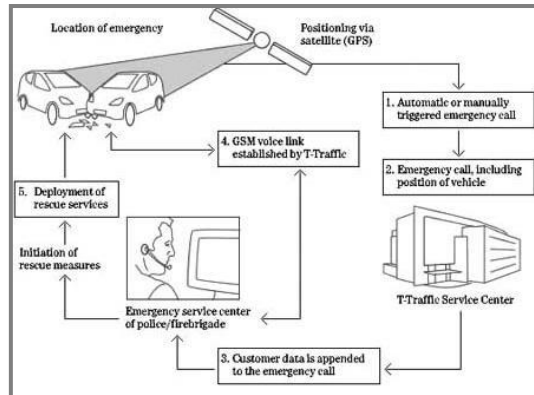


Figura 12. Mercedes-Benz TELEAID System

### 2.2.3.2 SERVICIOS DE NAVEGACIÓN

Los servicios de navegación se basan en los usuarios móviles [Figura 13]. La necesidad de localizar una ubicación y como llegar hasta ella desde la situación geográfica actual e incluso la capacidad de una red de telefonía móvil de posicionar un usuario, puede desembocar en la utilización de este tipo de servicios.

Hoy en día han proliferado los terminales para los vehículos, conocidos comúnmente como “gps” y por el nombre de su marca comercial “tom tom”.

Aun así el continuo desarrollo de los dispositivos, como ya venimos observando, permite la creación de nuevas aplicaciones y servicios para el usuario final.

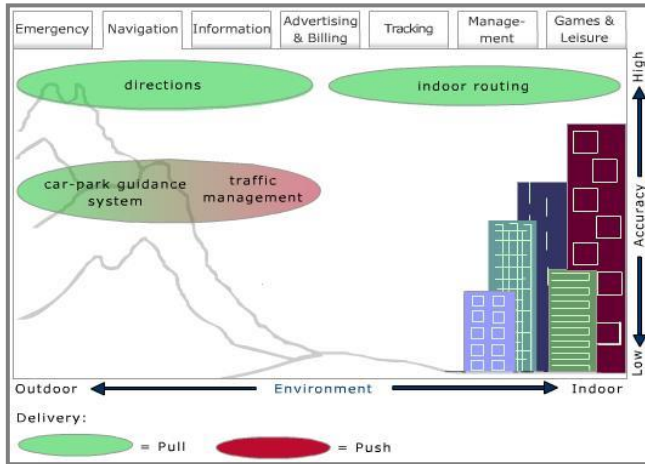


Figura 13. Gráfica ejemplo servicios LBS de navegación

Además de los ya citados navegadores para coche, podemos encontrar un sinnúmero de aplicaciones. Desde aquellas que nos informan del estado de las carreteras y nos ayudan a tomar la mejor decisión, incluso aquellas que nos guían por espacios interiores.

Como ejemplo citaremos una aplicación del cálculo de rutas [Figura 14] desarrollada en la Universidad Politécnica de Valencia [28]. En esta aplicación desarrollada para PDA se pueden calcular las rutas para ir de un sitio a otro de la Universidad, así como consultar los datos relacionados con las entidades asociadas a la misma. Todo ello interactuando los diferentes sistemas que se exponen en el trabajo.



Figura 14. Imágenes de la aplicación "Cálculo de rutas UPV"

### 2.2.3.3 SERVICIOS DE INFORMACIÓN

Este tipo de servicios, quizás sean los más demandados hoy en día [Figura 15]. Desde la ubicación de una cafetería, hasta la consulta de una guía turística. Cualquier servicio de consulta de este tipo lo podríamos englobar dentro de este grupo de aplicaciones.

Con el gran avance que se ha producido en los terminales móviles, hoy en día cualquier usuario maneja aplicaciones de este tipo de una manera natural y cotidiana. No es necesario disponer de un amplio conocimiento técnico para acceder a este tipo de aplicaciones. No tenemos más que coger nuestro terminal y realizar una pequeña consulta en las bases de aplicaciones que disponen, para descubrir un mundo casi inagotable de recursos y aplicaciones relacionadas con este ámbito.

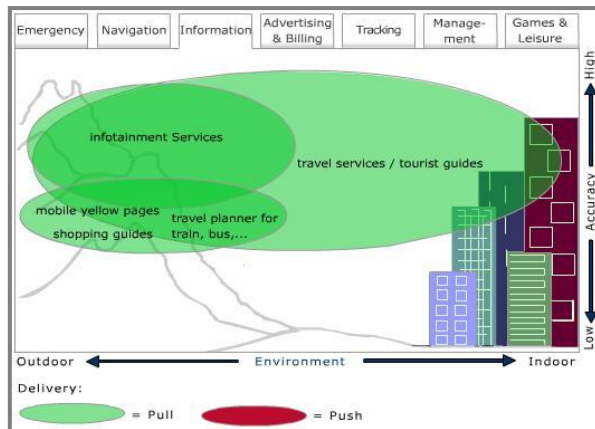


Figura 15. Gráfica ejemplo servicios LBS de información

A continuación comentaremos diversas aplicaciones y estudios realizados en relación a este tipo de servicios.

Por ejemplo podemos consultar el inventariado de elementos superficiales y puntuales en una determinada zona, e incluso acceder a la consulta de dicha información [29].

Otra aplicación sería una empleada para gestionar las parcelas dentro de un parque natural. Podríamos consultar en cualquier momento la información

de dichas parcelas e incluso modificar si fuera necesario algunos de los parámetros [30].

Una aplicación similar a la anterior es la gestión de los lugares de interés comunitarios (LIC) [Figura 16] de los parques naturales de la Comunidad Valenciana, con similares características y buscando el poder ejecutar en tiempo real y sobre el terreno diversas actualizaciones [31].

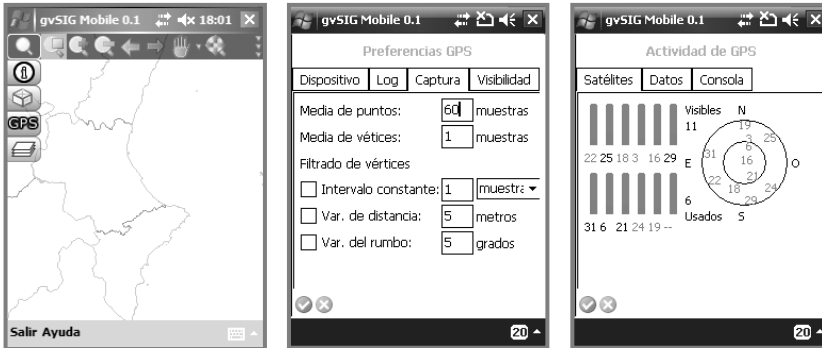


Figura 16. Imágenes aplicación “Gestión LICs”

En la búsqueda de diferentes elementos, podemos encontrarnos con elementos de diferentes tipos, y también es importante saber con qué precisión estamos jugando en cada uno de los casos, ya que esa precisión nos va a determinar la fiabilidad de la información recibida. [32]

#### 2.2.3.4 SERVICIOS DE PUBLICIDAD

Unos de los servicios que más interesan a las empresas, pero que a la vez se encuentran limitados por la legislación vigente son los servicios de publicidad.

Estos servicios ofrecen a los anunciantes colocar promociones eficientes y eficaces en un público concreto en entornos móviles. El problema es que si el usuario no está dado de alta en este servicio, no recibirá dicha publicidad.

Sería ideal ir de compras a un centro comercial, definir qué estás buscando y recibir las ofertas de todo aquello que se ciña a tus criterios de búsqueda.

### 2.2.3.5 SERVICIOS DE SEGUIMIENTO Y GESTIÓN

Este tipo de servicios pueden ser de utilidad tanto para un usuario final como para el mercado empresarial [Figura 17].

Diferentes tipos de aplicaciones muy desarrolladas y conocidas podemos encontrar hoy en día en el mercado. Por ejemplo el seguimiento de paquetes postales, para saber en cada momento donde se encuentra la mercancía. Otro clásico ejemplo es el seguimiento de vehículos, por ejemplo enviar la ambulancia más cercana a un accidente

Cada día es más importante y se valora en mayor medida la gestión y optimización de los recursos en las empresas, por lo tanto este tipo de aplicaciones poseen un gran valor para el tejido empresarial.

En este tipo de aplicaciones es donde podríamos encuadrar la aplicación que posteriormente comentaremos y que hemos desarrollado y puesto en práctica.

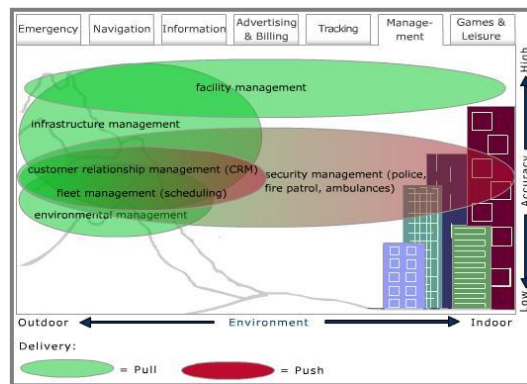


Figura 17. Gráfica ejemplo servicios LBS de seguimiento y gestión

### 2.2.3.6 SERVICIOS DE FACTURACIÓN

Este tipo de servicios se refieren a la capacidad de un proveedor local de un servicio móvil para cargar dinámicamente a los usuarios el coste de un determinado servicio en función de su ubicación o acceso al servicio.

Ejemplos claros de este tipo de aplicaciones son los cargos realizados en las autopistas de peaje.

En España encontramos el servicio via-T [33], por el que los vehículos pagan los peajes de autopista simplemente al circular por el mismo.

Otro sistema pionero en este sentido, es el desarrollado en Alemania [Figura 18], donde determinados vehículos de transportes, al exceder un peso determinado (12 toneladas) deben pagar un impuesto especial de uso de las carreteras. Para controlar la aplicación de este servicio se desarrolló una aplicación, *Toll Collect* [34], que al registrarse en ella genera toda la facturación automática de las tasas correspondientes al servicio prestado por la empresa.

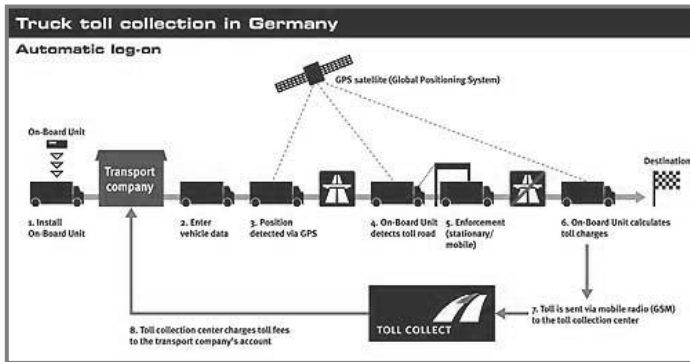


Figura 18. Esquema de funcionamiento de la aplicación "Toll Collect"

### 2.2.3.7 SERVICIOS DE JUEGO Y OCIO

Si tanto a nivel profesional o de negocio, hemos podido aplicar todo este tipo de técnicas, porque no lo íbamos a poder hacer a nivel particular y de ocio [Figura 19].

Hoy en día hay un sinnúmero de aplicaciones de juego, que requieren de nuestra posición para interactuar, pero sin duda la más ampliamente desarrollada y conocida a día de hoy es la conocida como *geocaching*.

Este tipo de juego está implantado a nivel mundial y básicamente consiste en ocultar pequeños "tesoros" para que otras personas a través de su posición GPS puedan localizarlos.

En España se desarrollan eventos, foros, comunidades de personas que disfrutan con este juego [35].

Otro tipo de aplicaciones bastante extendidas son las conocidas como buscadores de amigos. Te registras en esas aplicaciones, introduces una serie de características y cuando el sistema detecta que cerca de ti hay alguien que cumple con las características que has introducido te avisa y os permite entrar en contacto. Este tipo de aplicaciones ha destacado por su uso y que está muy extendida entre la comunidad homosexual.

Partiendo de estas premisas se pueden desarrollar un sinfín de aplicaciones y servicios aplicados al tiempo libre y el ocio. Todo ello con el valor añadido de introducir el uso de nuevas tecnologías en los juegos y pasa tiempos tradicionales.

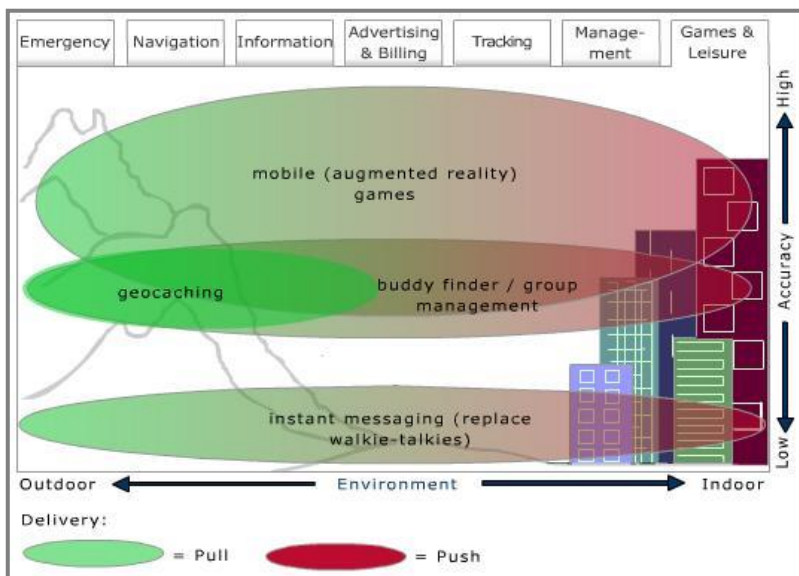


Figura 19. Gráfica ejemplo servicios LBS de juego y ocio

### 2.2.3.8 SERVICIOS DE REALIDAD AUMENTADA

Quizás esta línea sea la más desconocida hasta el momento, pero estamos convencidos que será una de las de mayor proyección en un futuro no muy lejano.



El continuo desarrollo de gran cantidad de aplicaciones que ya comienzan a utilizar la tecnología de la realidad aumentada, presentan un nuevo campo de trabajo y de investigación dentro de los servicios LBS.

Añadir imágenes fuera de las pantallas, información adicional e incluso interactuar con todo ello, es algo no tan lejano y en lo que se está trabajando. Ya no nos sorprenden los videojuegos en los que interactuamos sin necesidad de mandos de control, simplemente con nuestro movimiento.

#### **2.2.4 QUÉ TIENEN DE ESPECIAL LOS SERVICIOS LBS**

Los servicios LBS se distinguen claramente con todo lo que hemos visto hasta el momento de los servicios convencionales que conocemos, en papel, por Internet, etc. Principalmente porque son conscientes del entorno en el que se están empleando y porque pueden adaptar sus contenidos en consecuencia.

Encontramos muchos tipos de contextos diferentes, habitualmente tenemos en cuenta la ubicación, el tiempo y con ello lo que se pretende es clarificar donde se encuentra el usuario, cuando está el usuario utilizando un determinado servicio y que parte o funcionalidad del servicio se está utilizando.

No obstante no debemos de olvidar otras consideraciones, como podrían ser la edad del usuario, si está lloviendo o si se encuentra solo o acompañado.

Los servicios LBS pueden y deben responder a este tipo de entornos de diferentes maneras, filtrando para ello la información necesaria. Podemos por ejemplo limitar el radio de búsqueda de un restaurante a nuestro alrededor y presentar la información en forma de listado, en un mapa con iconos, o bien de la forma que deseemos o que nos solicite el usuario, que adaptará a sus necesidades y conocimientos la respuesta recibida.

En este apartado veremos que tienen de especial los contextos y porque hacen diferentes y especiales a los servicios LBS.

### 2.2.4.1 CONTEXTO

---

El contexto es cualquier información que puede ser utilizada para caracterizar una determinada situación de una entidad.

Entendemos por entidad a una persona, un lugar, un objeto, que se considera relevante para la interacción entre el usuario y la aplicación. Varios investigadores han tratado de clasificar los diferentes tipos de contextos físicos, sociales y culturales que son relevantes para un usuario al acceder a un servicio de información [36], [37], [38] y [39].

Además de las referencias comentadas anteriormente, en *An Approach to Intelligent Maps: Context Awareness* [40] desarrollan una clasificación atendiendo a los diferentes contextos comentados, con referencias específicas a los servicios móviles que están basados en mapas. De esta manera definen nueve tipos de contexto [Figura 20]:

- **Usuario:** conocer la identidad del usuario siempre es importante, para poder considerar cuestiones tales como, la edad, el género, las preferencias personales, quienes son sus amigos o compañeros de trabajo, para sociabilizar la aplicación, etc.
- **Ubicación:** La ubicación es el más común de los contextos, permite localizar la información y los servicios que se utilizan. Esta ubicación puede ser absoluta, si se encuentra georreferenciada o relativa, por ejemplo la ubicación dentro de un edificio.
- **Tiempo:** A la hora de trabajar con el tiempo se puede hacer de manera instantánea o mediante intervalos de tiempo, por ejemplo, mañana, tarde, noche o por estaciones del año.
- **Propósito de uso:** La finalidad del tratamiento que le demos a la información se define por las actividades, objetivos, tareas y funciones de los usuarios. Los diferentes tipos de uso requieren diferentes tipos de información, o de presentación o incluso de interacción
- **La situación social y cultural:** La situación social de un usuario se caracteriza por su cercanía a los demás, por sus relaciones sociales y por su interacción, por ejemplo, una persona podría querer ir a los

lugares más populares (donde va todo el mundo) y en cambio otra persona podría querer evitar aglomeraciones y tumultos en sus visitas, o lugares diferentes.

- **Medio físico:** En este apartado se podrían tener en cuenta variables como la cantidad de luz solar, que nos perjudicará sobre la pantalla de nuestro dispositivo y el ruido ambiental existente en una determinada zona.
- **Orientación:** La orientación es importante para poder determinar la dirección y por lo tanto lo que rodea al usuario. En un servicio de guía turística será preciso conocer donde se encuentran los principales monumentos de un centro histórico.
- **El historial de navegación:** Este historial permite a los usuarios saber qué es lo que han visto y donde han estado. Puede servir para volver atrás en caso de no tener claro la continuación de una ruta, o incluso para almacenar preferencias y crear un perfil del usuario para poder ofrecerle información más concreta y detallada.
- **Propiedades del sistema:** Se refiere al tipo de dispositivo que está utilizando el usuario, por ejemplo si tiene conexión a Internet de manera continuada, si dispone de GPS para posicionamiento preciso, si dispone de ancho de banda en su conexión, etc. Todo ello para intentar mejorar las prestaciones facilitadas.

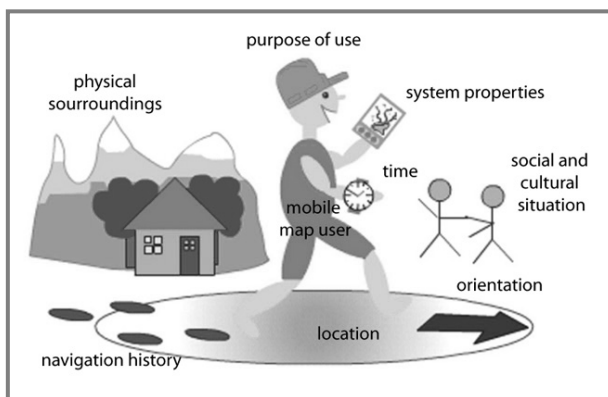


Figura 20. Contextos definidos en [40]

### 2.2.4.2 ADAPTACIÓN

Muchas veces nos encontramos con situaciones que varían porque el contexto en el que se encuentran ha variado también. Debido a esto la adaptación se ha convertido en un término común al hablar de cartografía móvil[25].

Según *Adaptive Methods for Mobile Cartography* [41] la adaptación puede tener lugar en cuatro niveles diferentes [Figura 21]:

- **Nivel de información:** el contenido de la información está adaptada. Los ejemplos filtran la información por la proximidad a un usuario o modifican el nivel de detalle de la información de acuerdo a las tareas asignadas.
- **Nivel de la tecnología:** La información es codificada para adaptarse a las características de diferentes dispositivos (por ejemplo, el tamaño de pantalla y su resolución, la red y la disponibilidad de posicionamiento). Usando las instrucciones auditivas de conducción para los usuarios con teléfonos móviles o los mapas para los usuarios con PDA o navegadores.
- **Nivel de interfaz de usuario:** la interfaz de usuario se adapta. Por ejemplo, la orientación de un mapa en función de la posición del dispositivo, cuando el usuario se encuentra en movimiento, gira el dispositivo o lo mueve por cualquier circunstancia.
- **Nivel de presentación:** la visualización de la información está adaptada. Por ejemplo los restaurantes que son más relevantes para las preferencias del usuario en el precio y en el tipo de restaurante se muestran con iconos más nítidos y aquellas de uso menos relevantes más opacos.

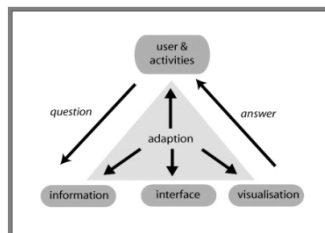


Figura 21. Niveles de adaptación según [41]

### **2.2.4.3 PRIVACIDAD**

Evidentemente que la detección de un contexto ayuda en gran medida a proporcionar información a medida a un usuario específico. Un claro ejemplo de esto lo podemos encontrar en una aplicación para visitantes de un Parque Nacional [42].

Visto desde otro contexto la privacidad en este tipo de aplicaciones levanta muchas preocupaciones entre los usuarios. Se puede determinar la posición de usuarios, el análisis de sus preferencias e incluso el historial de acción.

Toda esta información puede ayudar en gran medida a las aplicaciones comerciales a la obtención de un modelo de cliente perfecto, pero en cambio puede elevar los temores de los usuarios.

Por lo tanto el contexto anda íntimamente ligado con la seguridad y la privacidad en las aplicaciones de usuario. El usuario debe estar siempre informado sobre la información que se recoge y la seguridad existente en la transferencia de datos.

Además, el usuario de un servicio LBS debe tener la opción para decidir si las características del contexto de servicios basados en esa aplicación están activados o desactivados [43].

### **2.2.5 CÓMO FUNCIONAN LOS SERVICIOS LBS**

Los componentes básicos de un servicio LBS los hemos comentado en apartados anteriores, en este apartado vamos a ver a modo resumen como funciona una servicio LBS y que partes lo componen, aunque posteriormente trabajaremos de una forma más amplia cada una de estas partes.

#### **2.2.5.1 EJEMPLO DE FUNCIONAMIENTO**

Vamos a poner un ejemplo de búsqueda de un restaurante de comida árabe.

El usuario realizará en su dispositivo una búsqueda [Figura 22] de restaurantes, y en el tipo seleccionará comida árabe.

- En ese instante el dispositivo facilitará al sistema la posición actual, bien mediante GPS o mediante posicionamiento de red, o si el dispositivo del cliente carece de ello podría introducir su posición manualmente.
- Se inicia la comunicación entre el dispositivo y la base de datos de la aplicación. Se inicia el proceso de búsqueda.
- El servicio analiza el mensaje y determina que criterios son necesarios. Solicita al proveedor de datos la información necesaria para devolver al cliente.
- Una vez recogida toda la información se realiza una consulta de rutas para calcular las distancias.
- Y ya tenemos la información preparada para mostrar al usuario en el formato que nos solicita.

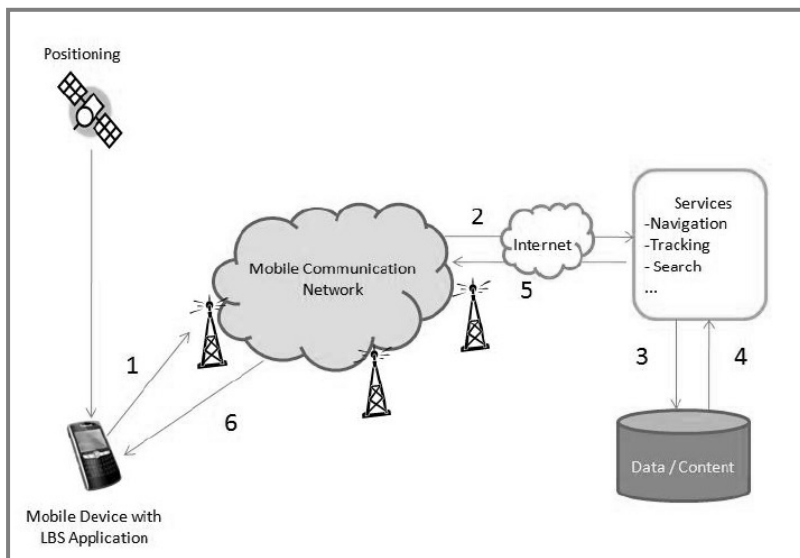


Figura 22. Flujo de información en un servicio LBS según [27]

## 2.3 TECNOLOGÍA SIG

Ya que en el apartado anterior hemos hablado de los SIG, vamos a realizar un breve estudio de los mismos.

Se trata de hacer una pequeña introducción para ver cómo funcionan y que nos pueden aportar al conjunto de tecnologías que estamos repasando y que posteriormente utilizaremos para el desarrollo de nuestra aplicación.

### 2.3.1 INTRODUCCIÓN

El término Sistema de Información Geográfica (SIG) suele aplicarse a sistemas informáticos orientados a la gestión de datos espaciales que constituyen la herramienta informática más adecuada y extendida para la investigación y el trabajo profesional en Ciencias de la Tierra y Ambientales. Se trata de herramientas complejas, reflejo de la complejidad del objeto de estudio de estas ciencias, fruto de la evolución y fusión de programas de muy distinto tipo, que anteriormente se habían utilizado de forma independiente.

Sin ser una herramienta novedosa, se acepta el año 1966 como fecha de creación del primer SIG [44], tras años de acumulación de experiencia y tecnologías, los SIG han experimentado en los últimos quince años un rápido desarrollo teórico, tecnológico y organizativo y una amplia difusión tanto en la administración como en los mundos académico y profesional.

### 2.3.2 ¿QUÉ ES UN SIG?

En general, un Sistema de Información (SI) consiste en la unión de información en formato digital y herramientas informáticas (programas) para su análisis con unos objetivos concretos dentro de una organización (empresa, administración, etc.). Un SIG es un caso particular de SI en el que la información aparece georreferenciada es decir incluye su posición en el espacio utilizando un sistema de coordenadas estandarizado resultado de una proyección cartográfica.

Cuando se habla de Sistemas de Información, suele pensarse en grandes sistemas informáticos que prestan apoyo a empresas u organismos de cierta envergadura. Este apoyo implica:

- El almacenamiento de la información relativa al capital de la empresa y a todas las transacciones.
- Permitir la consulta de datos particulares con cierta facilidad y desde diferentes puntos.
- Analizar estos datos para obtener un mejor conocimiento de las vicisitudes que atraviesa la empresa.
- Ayudar en la toma de decisiones importantes.

Por ejemplo, en el caso del Sistema de Información de una compañía aérea, el sistema de reserva y venta de billetes debe actualizarse constantemente para permitir la consulta al mismo desde cualquier punto de venta. Toda esta información debe quedar almacenada para analizar la marcha de la compañía, cuantificar el impacto de determinados acontecimientos y apoyar decisiones como la compra de nuevos aparatos o la cancelación de vuelos.

Si pensamos en el SIG de una región, este contendrá información ambiental y socioeconómica de manera que podamos consultar las características de un determinado espacio o cuáles son las áreas que cumplen con el conjunto de criterios recomendables para, por ejemplo, instalar un parque eólico. De este modo un SIG se convierte en una herramienta fundamental para llevar a cabo estudios de Ordenación del Territorio o Evaluación de Impacto Ambiental.

Podríamos considerar, en sentido amplio que un SIG está constituido por [Figura 23]:

- **Bases de datos espaciales y temáticas:** en las que la realidad se codifica mediante unos modelos de datos específicos, cuya vinculación con la base de datos cartográfica permite asignar a cada punto, línea o área del territorio unos valores temáticos.



- **Conjunto de software:** que permiten manejar estas bases de datos de forma útil para diversos propósitos de investigación, docencia o gestión.
- **Conjunto de hardware:** de entrada y salida que constituyen el soporte físico del SIG.
- **Comunidad de usuarios:** que pueda demandar información espacial.
- **Procedimientos:** conjunto de operaciones que se realizan para obtener los resultados demandados por el usuario.



Figura 23. Partes de un SIG

### 2.3.2.1 BASES DE DATOS

Desde el punto de vista de los datos, un SIG se basa en una serie de capas de información espacial en formato digital que representan diversas variables, o bien capas que representan entidades a los que corresponden varias entradas en una base de datos enlazada. Estas capas corresponden, al menos en parte, a la misma zona, de manera que pueden analizarse en conjunto. De este modo puede combinarse, en un mismo sistema, información espacial y temática, con orígenes y formatos muy diversos [Figura 24].

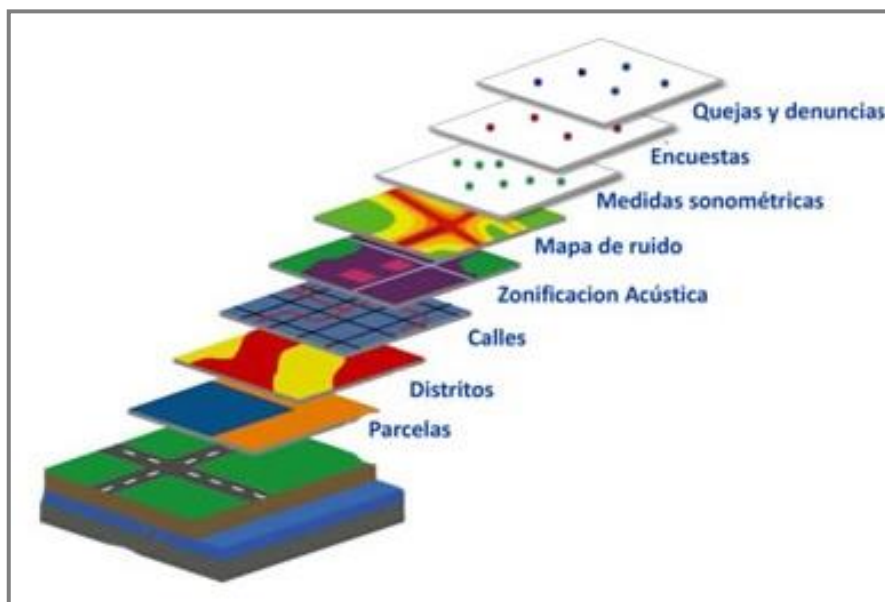


Figura 24. Diversas capas en un SIG

De las diversas disciplinas que convergen en los SIG, la cartografía es una de las que tiene una contribución más relevante. Los SIG representan así una visión "cartográfica" del mundo apoyada en un espacio absoluto dotado de un sistema cartesiano de coordenadas obtenido a partir de un sistema de proyección. La fortaleza que supone el apoyo de la enorme tradición cartográfica implica también inconvenientes como el carácter estático y plano de los mapas y la incapacidad para reflejar el nivel de incertidumbre asociado a estos datos o la necesidad de unificar sistemas de proyección si los de las capas de información original son diferentes.

### 2.3.2.2 PROGRAMAS

Desde el punto de vista de los programas, los Sistemas de Información Geográfica se han desarrollado a partir de la unión de diversos tipos de aplicaciones informáticas [Figura 25]: La cartografía automática tradicional, los sistemas de gestión de bases de datos, las herramientas de análisis digital de imágenes, los sistemas de ayuda a la toma de decisiones y las técnicas de modelización física

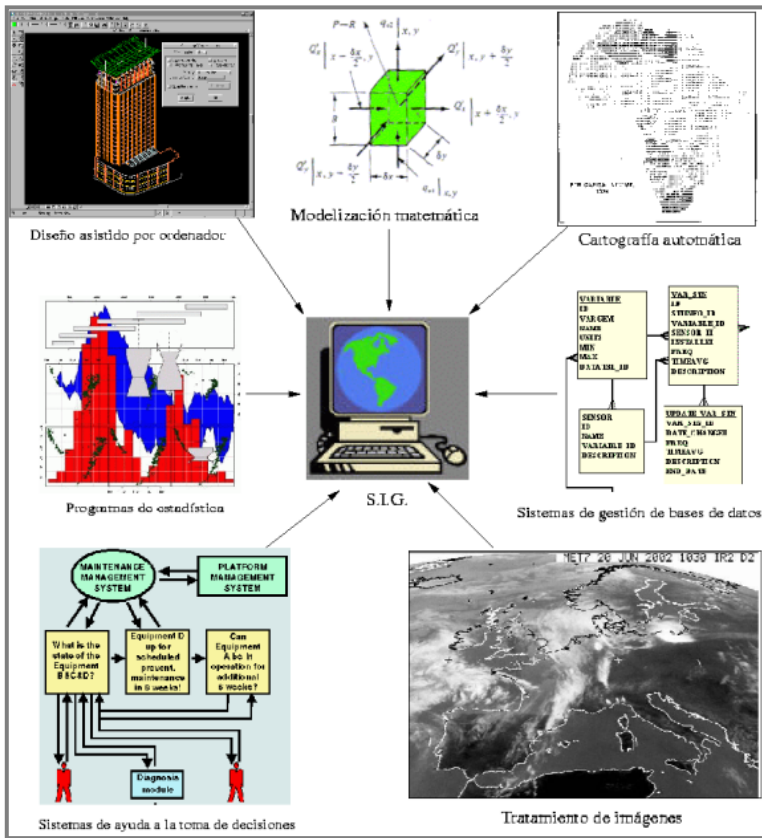


Figura 25. En los SIG convergen distintas líneas de trabajo

Por ello tienden a veces a ser considerados un producto único de determinados sectores, sin embargo la fuerte carga teórica de los SIG exige al usuario conocimientos adecuados acerca de la ciencia espacial con la que está trabajando para escoger, en cada caso, las herramientas adecuadas a cada análisis en particular. Por otro lado, para un experto en estas materias que desee introducirse en el manejo de los SIG, resulta imprescindible, lógicamente, una formación informática sólida.

Estas herramientas son muy variados hasta el punto de partir de distintas concepciones acerca de cómo entender y representar el espacio y los fenómenos en él ubicados. Estas diferencias reflejan diferentes tipos de teorías acerca del espacio procedentes de disciplinas científicas diversas; por tanto utilizar una determinada herramienta SIG para resolver un problema implica la aceptación, al menos implícita, de una teoría, una

hipótesis, acerca de los datos que se manejan [Figura 26]. Por ejemplo un mapa del pH del suelo puede hacerse de dos maneras:

- asignando a cada polígono que representa un tipo de suelo un valor de pH medio de dicho suelo.
- interpolando un conjunto de medidas de pH obtenidas en diferentes puntos.

Y cada una de estas maneras asume hipótesis completamente diferentes acerca de la variabilidad espacial de las propiedades edáficas.

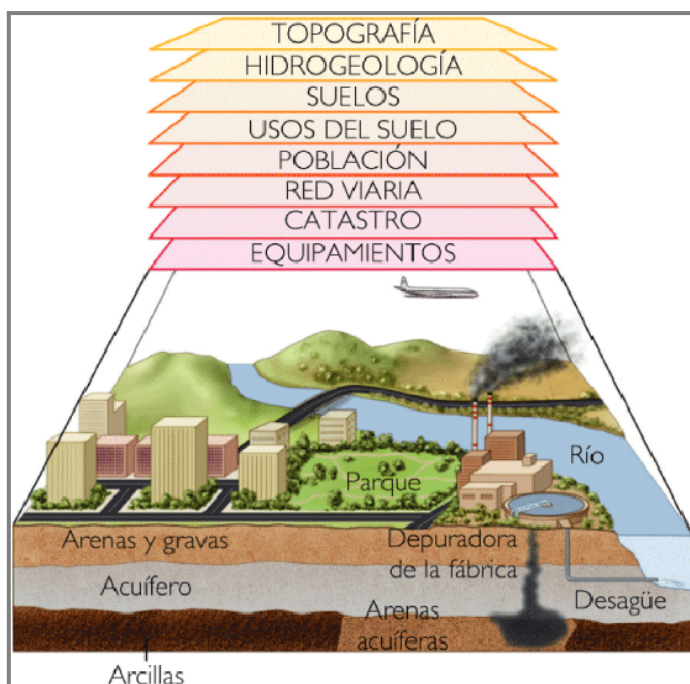


Figura 26. Ejemplo de datos necesarios para un análisis SIG

El desarrollo de los SIG no ha supuesto en realidad un cambio real en los modos de analizar la información. Gran parte de los algoritmos utilizados se conocían desde antes de la aparición de los ordenadores y simplemente era inviable hacer los cálculos a mano. De hecho el progresivo aumento en la potencia de los ordenadores hace que cada cierto tiempo se incorporen nuevas técnicas ya conocidas pero más exigentes en cuanto a potencia del ordenador que las disponibles hasta el momento.

Pero hay que tener en cuenta que la utilización de grandes ordenadores y herramientas sofisticadas no garantiza tampoco la calidad de los resultados. Sólo con buenos datos de partida, un modelo de datos adecuado a los mismos y técnicas de análisis también adecuadas podrá obtenerse buenos resultados.

Uno de los errores más comunes cuando alguien se inicia en el uso de los SIG es confundir el manejo de un programa con el dominio de una técnica. Igual que no es lo mismo saber estadística que saber pulsar los botones de funciones estadísticas de una calculadora, tampoco es lo mismo conocer las técnicas SIG que saber manejar un determinado programa y obtener salidas gráficas más o menos estéticas. De hecho, aunque una de las primeras percepciones que se tienen de un SIG son las salidas gráficas a todo color, impresas o en la pantalla de un ordenador; conviene recordar que hay una diferencia fundamental entre los programas de manejo de gráficos y los SIG. En los primeros, lo fundamental es la imagen que vemos, siendo irrelevante como se codifique, en un SIG la imagen es sólo una salida gráfica sin mayor importancia, lo relevante son los datos que se están representando y el análisis de los mismos.

Aunque en sentido estricto no sería necesario, se han desarrollado un tipo específico de aplicaciones informáticas para el manejo de un SIG. Estos programas es lo que popularmente se conoce cómo SIG (IDRISI, ArcGIS, GRASS, gvSIG, etc.), pero que realmente constituyen tan sólo un componente de lo que es realmente un Sistema de Información Geográfica.

---

### **2.3.2.3 USUARIOS**

---

Los SIG están al servicio de una estructura organizativa, tienen un gran número de usuarios con diferentes niveles de acceso, administradores del sistema y personal responsable de tomar decisiones en función de los informes aportados por el Sistema. Por tanto, salvo casos triviales como el de un SIG personal desarrollado para hacer un trabajo personal, los aspectos administrativos se convierten, junto a las bases de datos y las herramientas informáticas para su análisis, en el tercer pilar de un SIG.

Debido a la complejidad y a la utilidad de este tipo de sistemas resulta importante distinguir entre tres formas de interacción con el SIG:

- **Usuarios:** su misión es obtener información del SIG y tomar decisiones en función de la misma. Suelen necesitar una interfaz de usuario sencilla para enmascarar la complejidad del sistema debido a la falta de conocimientos informáticos.
- **Técnicos en SIG:** encargados de seleccionar las herramientas, los datos, la escala adecuada de representación para los fines propuestos para el Sistema, y los procedimientos para su introducción en el SIG.
- **Técnicos en Informática:** en sistemas de cierta importancia, son los encargados de su administración. Esto incluye modificar o incluso crear desde cero las herramientas que contiene el SIG para adaptarlas a los requerimientos de los usuarios cuando estos no puedan ser llevados a cabo por los técnicos en SIG a partir de las herramientas disponibles en el sistema

Esta división puede difuminarse de forma considerable en los diferentes casos reales.

Debido a la imparable implantación de los SIG como herramienta de análisis y gestión de datos espaciales el número de usuarios de SIG (no siempre voluntarios) crece enormemente. Por otro lado la necesidad de basar ciertas decisiones políticas en los resultados de un SIG ha llevado a algunos gestores a interesarse por estos programas.

Estos nuevos usuarios, con bastantes menos conocimientos informáticos que los usuarios tradicionales, no tienen necesidad de un programa altamente sofisticado sino que simplemente necesitan visualizar y consultar cómodamente información espacial. Para cubrir esta necesidad han aparecido programas sencillos pero menos potentes que los SIG tradicionales. A raíz de estos hechos, se ha abierto cierta polémica en torno a la aparente contradicción entre programas de gran potencia y flexibilidad pero difícil manejo y programas sencillos pero menos potentes. Quizás la solución habría que buscarla en el mundo de las bases de datos. Una base de datos potente (Oracle, Postgress, SQL server) distingue entre:

- La *base de datos en si*, como conjunto de ficheros que almacenan la información.
- El *programa servidor de bases de datos que* recibe las consultas de los usuarios y accede a la base de datos.
- Los *programas clientes de bases de datos* son programas sencillos que permiten al usuario escribir consultas, las lanzan al servidor, reciben la respuesta de este y presentan los resultados al usuario.

Los usuarios acceden a la base de datos a través de programas clientes [Figura 27], estos se comunican con el programa servidor que analiza sus consultas y suministra sus resultados. Los programas clientes pueden ser más o menos complejos en función de las necesidades del usuario, puede tratarse de un simple visualizador de tablas o de un cliente con capacidad para hacer consultas y modificaciones complejas a la base de datos.

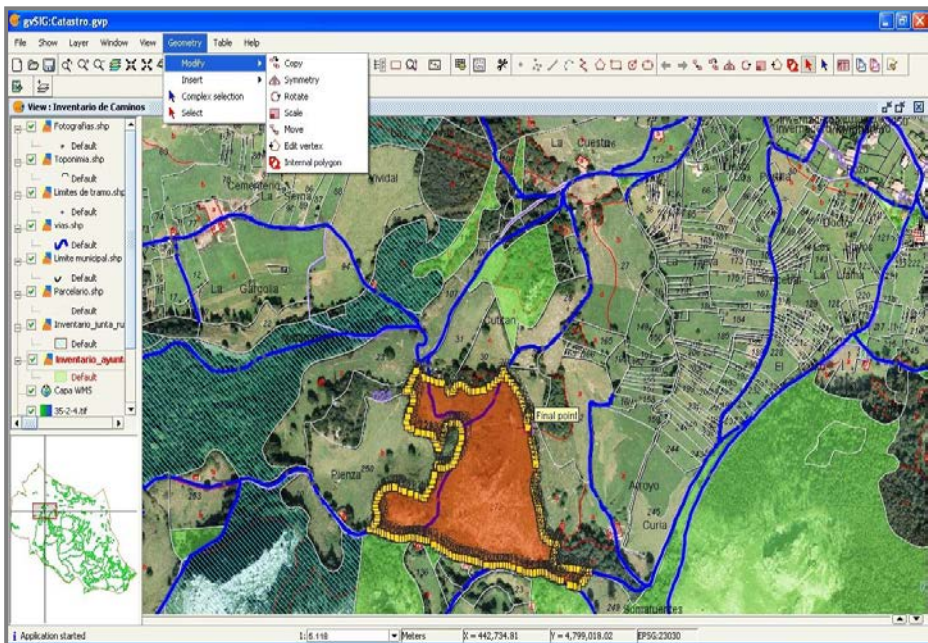


Figura 27. Consulta a través del programa cliente gvSIG

### **2.3.3 UTILIZACIÓN DE LOS SIG**

Las funciones básicas, y más habitualmente utilizadas, de un SIG son el almacenamiento, visualización, consulta y análisis de datos espaciales. Un uso algo más avanzado sería por ejemplo la utilización de un SIG para la toma de decisiones en ordenación territorial o para la modelización de procesos ambientales.

#### **2.3.3.1 ALMACENAMIENTO**

El primer problema que se plantea al trabajar con un SIG es el cómo codificar y almacenar los diferentes fenómenos que aparecen en la superficie terrestre. El primer paso para conseguirlo es desarrollar modelos de datos adecuados. Es decir, el almacenamiento de datos espaciales implica modelizar la realidad y codificar de forma cuantitativa este modelo.

La modelización consiste en extraer los elementos esenciales para nuestro trabajo obviando aquellos que no son necesarios [45], [46] y [47].

#### **2.3.3.2 VISUALIZACIÓN**

La diferencia básica entre un Sistema de Información en sentido amplio y un SIG es que este último maneja datos espaciales. Estos se presentan en un espacio de cuatro dimensiones (tres espaciales y el tiempo) pero debido al peso que la tradición cartográfica tiene sobre los SIG, una de las formas prioritarias de presentación de los datos es en su proyección sobre el espacio bidimensional definido mediante coordenadas cartesianas.

Hoy en día están apareciendo un gran número de programas sencillos que se centran en la visualización y consulta de datos espaciales, lo que se conoce como *desktop mapping*, que es un complemento a los SIG más que SIG en sí mismo. Sin embargo gran parte de la popularización de los SIG se debe a este tipo de aplicaciones ya que han permitido introducir la dimensión espacial de la información de forma sencilla en entornos de trabajo en los que no existía una tradición a este respecto.



### **2.3.3.3 CONSULTAS**

---

Un paso adelante sería la obtención de respuestas a una serie de consultas sobre los datos y su distribución en el espacio. Una consulta a una base de datos implica:

- Seleccionar el subconjunto de datos que el usuario necesita en función de un conjunto de criterios previamente definidos.
- Presentarlo al usuario de forma útil bien sea tablas (con listados de los municipios ordenados según diversos criterios), gráficos o mapas. Las tablas dan una información más exacta, pero los mapas presentan sobre las tablas la ventaja de que aportan información espacial.

En un Sistema de Información convencional o en una base de datos, las consultas se basan en propiedades temáticas. En un SIG las consultas se basan tanto en atributos temáticos como en propiedades espaciales, estas pueden definirse mediante un par de coordenadas o pinchando directamente sobre un mapa.

El lenguaje de consulta más utilizado en programas de gestión de bases de datos es SQL (Lenguaje Estructurado de Consultas). Sus resultados son tablas, sin embargo estas tablas pueden combinarse con capas de información espacial preexistentes para obtener, como presentación, una nueva capa.

### **2.3.3.4 ANÁLISIS**

---

Más avanzado sería el uso de herramientas de análisis espacial y álgebra de mapas para el desarrollo y verificación de hipótesis acerca de la distribución espacial de las variables y objetos.

En algunos casos resulta necesaria la utilización de programas de análisis estadístico externo a los programas de SIG, debe buscarse entonces la mayor integración posible entre ambos tipos de programas en cuanto a tipos de datos manejados y compatibilidad de formatos de ficheros. En otros casos se tratará de implementar modelos ya formulados apoyados en

el conocimiento de expertos bien en comunicación directa o bien a través de una búsqueda bibliográfica.

A partir de los resultados de este tipo de análisis podemos, en algunos casos, generar nuevas capas de información.

### 2.3.3.5 TOMA DE DECISIONES

Un punto más allá de sofisticación sería la utilización de un SIG para resolver problemas de toma de decisión en planificación física, ordenación territorial, estudios de impacto ambiental, etc., mediante el uso de instrucciones complejas del análisis espacial y álgebra de mapas. En definitiva se trataría de resolver preguntas del tipo:

- ¿Qué actividad es la más adecuada para un área concreta? Por ejemplo cual es el uso del suelo más adecuado para una parcela concreta teniendo en cuenta una serie de criterios basados en variables espaciales de las que se cuenta con capas de información.
- ¿Cuál es el mejor lugar para la instalación de determinada actividad deseada (un centro de ocio) o indeseada (un vertedero)?

Ejemplos de este tipo [Figura 28], podemos encontrar en multitud de estudios realizados [48].

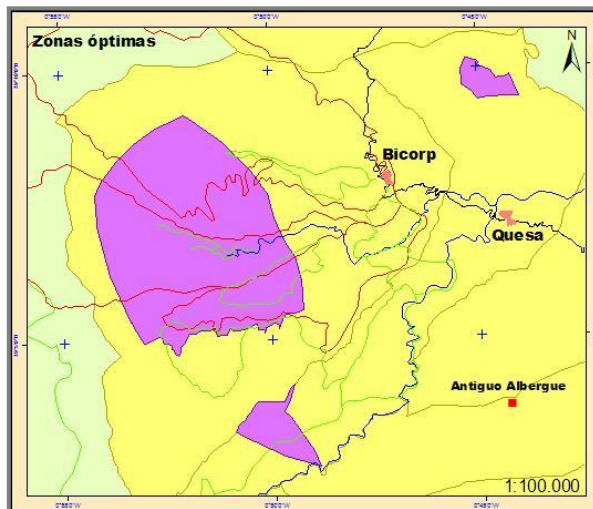


Figura 28. Zona óptima localización albergue en la Canal de Navarrés

### 2.3.3.6 MODELIZACIÓN

Finalmente, las aplicaciones más elaboradas de los SIG son aquellas relacionadas con la integración de modelos matemáticos de procesos naturales, dinámicos y distribuidos. Los objetivos perseguidos pueden ser tanto científicos como de planificación y ordenación. Por ejemplo:

- ¿Qué áreas pueden inundarse en caso de producirse un episodio lluvioso dado?
- ¿Qué consecuencias ambientales puede tener un embalse aguas abajo de su ubicación?
- ¿Cómo podría mejorarse la eficiencia en el uso del agua?
- ¿Cuál va a ser el impacto sobre el medio de dicha actividad?

En estos casos los SIG deben integrarse con un modelo dinámico, esta integración puede llevarse a cabo de varios modos:

- El SIG se utiliza sólo para crear las capas de entrada al modelo y visualizar las de salida. El modelo se implementa en un programa aparte que importa y exporta los formatos de fichero del SIG. Ambos programas son totalmente independientes. Un ejemplo de funcionamiento similar sería el caso de una hoja de cálculo cuyo contenido se grabara en formato de texto (\*.txt) y este fichero se leyera con un procesador de textos para su incorporación en un documento;
- Ambos programas se integran más estrechamente compartiendo el mismo formato de ficheros y pudiendo ejecutarse al mismo tiempo. Por ejemplo los diferentes programas de una suite ofimática.
- El modelo se incorpora como un módulo del SIG. Sería el caso de un procesador de textos que incorporara una pequeña aplicación de hoja de cálculo para incorporar, y trabajar con, tablas en el documento.

### 2.3.4 APLICACIONES DE LOS SIG

Un Sistema de Información Geográfica es una herramienta que permite la integración de bases de datos espaciales y la implementación de diversas

técnicas de análisis de datos. Por tanto cualquier actividad relacionada con el espacio, puede beneficiarse del trabajo con SIG. Entre las aplicaciones más usuales destacamos las siguientes:

#### **2.3.4.1 CIENTÍFICAS**

---

- Desarrollo de modelos empíricos, por ejemplo los que relacionan temperatura con altitud, orientación, etc. a partir de medidas tomadas en el lugar.
- Modelización cartográfica (aplicación de modelos empíricos para hacer mapas de temperatura a partir de mapas de altitud, orientación, etc.).
- Modelos dinámicos (utilización de las leyes de la termodinámica y la dinámica de fluidos para hacer un mapa de temperatura utilizando un mapa de elevaciones, entre otros, como condiciones de contorno.
- Teledetección, las imágenes de satélite son estructuras raster que se manejan de forma óptima en un SIG.

#### **2.3.4.2 GESTIÓN**

---

- Cartografía automática.
- Información pública, catastro.
- Planificación de espacios protegidos.
- Ordenación territorial.
- Planificación urbana.
- Estudios de impacto ambiental.
- Evaluación de recursos.
- Seguimiento de las consecuencias de determinadas actuaciones (presas, diques, carreteras).

### **2.3.4.3 EMPRESARIAL**

---

- Marketing (envío de propaganda a los residentes cerca del local que cumplan determinadas condiciones).
- Estrategias de distribución (optimización de las rutas que una flota de camiones debe realizar para distribuir mercancía desde varios almacenes a varios clientes).
- Localización óptima de una sucursal en función de los clientes potenciales situados alrededor.

## 2.4 SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL

Desde que en 1957 el lanzamiento del Sputnik-1 supuso el comienzo de la era de los satélites artificiales y su posterior uso en aplicaciones para el interés de la comunidad mundial, la tecnología ha avanzado en este aspecto de manera espectacular, y uno de los campos en los cuales se ha manifestado especialmente dicho avance, es en las aplicaciones que conciernen a las ciencias de la Tierra, y dentro de ellas, de manera notable en el estudio de su forma y dimensiones (Geodesia), así como, en el estudio de los fenómenos físicos que afectan y condicionan dicha forma y dimensiones (Geofísica).

Todo ello ha facilitado en gran medida el avance y la implantación de los sistemas de posicionamiento global, donde hoy por hoy hay mucho donde investigar y avanzar.

Los dos sistemas que actualmente destacan por delante de nuevos sistemas que están en fase de desarrollo son NAVSTAR (Navigation Signal Timing and Ranging) y GLONASS (Global Navigation Satellite System). Ambas son constelaciones de satélites [52].

Ambas constelaciones fueron creadas por los Departamentos de Defensa de los Estados Unidos y Rusia (antigua URSS), respectivamente, y su principal cometido era poder posicionar un objeto en la superficie de la Tierra a través de las señales emitidas en forma de ondas de radio por los satélites de dichas constelaciones, que dicho objeto procesaba en la superficie, determinando así su posición con una precisión en función del tipo de información recibida, tiempo de recepción y condiciones de la emisión.

Este posicionamiento se produce sobre un sistema de referencia inercial cartesiano, que en el caso de usar la constelación americana NAVSTAR corresponde al sistema WGS-84, y en el caso de usar la constelación rusa GLONASS corresponde al sistema PZ-90 [6].

A principios de los años ochenta, se empezaron a utilizar estos métodos para aplicaciones de índole civil, tales como actividades de navegación

aérea, marítima y terrestre, lo que supuso un importante avance en la organización y el estado de los transportes y comunicaciones mundiales. La investigación y el tratamiento de estos sistemas de posicionamiento por satélite, ha llevado en la actualidad a que sean utilizados para fines científicos y tecnológicos.

Pero quizá, las aplicaciones en las cuales estos sistemas han calado más hondo son la Geodesia y la Topografía, a partir del descubrimiento de que dichos sistemas de posicionamiento podían aportar las precisiones requeridas para el desarrollo de estas ciencias y su aplicación en el desarrollo de infraestructuras, cartografía, dimensionamientos, sistemas de información geográfica, estudios de movimientos y deformaciones, y para fines más expeditos como la navegación y el ocio.

Es por ello que constituyen, hoy por hoy, unos de los sistemas de medida más usados y con mayores expectativas de futuro. Este hecho los obliga a estar en continua evolución para que la comunidad mundial obtenga resultados cada vez más satisfactorios. Pero es esta comunidad, y en concreto los profesionales de las materias afectadas, los que deben disponer de la documentación y experiencias necesarias para llegar a dominar estos métodos de trabajo y obtener de ellos el máximo rendimiento.

El objetivo de estas líneas no es otro que introducir de forma básica estos sistemas e invitar a los futuros usuarios de las aplicaciones desarrolladas a calar en su funcionamiento y posibilidades de desarrollo, abriendo el campo de la medida por satélite como una poderosa herramienta de trabajo, y que hoy por hoy, se está convirtiendo en el método más usado por su precisión y rapidez en los campos antes reseñados, siendo este el motivo por el cual no debe pasar desapercibido por ninguno de nuestros profesionales.

### **2.4.1 SISTEMA GPS**

El Sistema GPS (Sistema de Posicionamiento Global) fue creado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos para constituir un sistema de navegación preciso con fines militares que sustituyeran al antiguo sistema utilizado.

Para ello, aprovecharon las condiciones de la propagación de las ondas de radio de la banda L en el espacio, así como la posibilidad de modular las ondas para que en ellas se pueda incluir la información necesaria que permita posicionar un objeto en el sistema de referencia apropiado.

Este proyecto se hizo realidad entre los meses de febrero y diciembre de 1978, cuando se lanzaron los cuatro primeros satélites de la constelación NAVSTAR, que hacían posible el sistema que resolvería la incógnita de nuestra posición en la Tierra. A continuación vamos a describir las generalidades del sistema GPS y sus características más importantes. Para ello, debemos dividir el sistema en tres sectores fundamentales [Figura 29] y dependientes entre sí, el sector espacial, el sector de control y el sector de usuarios.

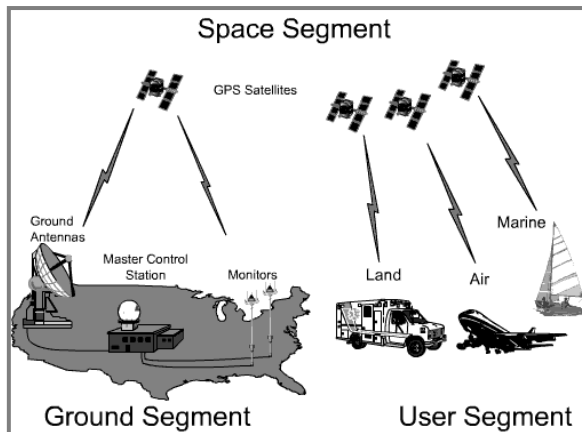


Figura 29. Sectores GPS

#### 2.4.1.1 SECTOR ESPACIAL

Este sector lo forman los satélites de la constelación NAVSTAR. La constelación está formada por seis planos orbitales, y en cada uno de ellos existe una órbita elíptica casi circular donde se alojan los satélites regularmente distribuidos. Los planos tienen una inclinación de  $55^\circ$  respecto al plano del ecuador, y se nombran como A, B, C, D, E y F. Cada órbita contiene al menos cuatro satélites, aunque pueden contener más. Los satélites se sitúan a una distancia de 20200 Km respecto del geocentro, y completan una órbita en doce horas sidéreas.



Estos satélites son puestos en funcionamiento por el Comando de las Fuerzas Aéreas Espaciales de U.S.A. Con estos fundamentos, se garantiza la presencia de al menos cuatro satélites sobre el horizonte en todos los lugares de la superficie de la Tierra.

#### 2.4.1.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS SATÉLITES

---

Los satélites de la constelación NAVSTAR [Figura 30] son identificados de diversos modos:

- Por su número NAVSTAR (SVN).
- Por su código de ruido pseudoaleatorio (PRN). En los códigos de transmisión existen características de ruido pseudoaleatorio traducidas en bits que identifican a cada satélite de la constelación.
- Por su número orbital. Un ejemplo sería el satélite 3D, que corresponde al satélite número tres del plano orbital D.

A fecha de noviembre de 2012, existe un número de treinta y un satélites operativos, pertenecientes a los bloques IIA, IIR-M, IIF y IIR. Se disponen:

- Cinco en los planos A, B, C, D y F.
- Seis en el plano E.

Todos disponen de osciladores atómicos de rubidio, salvo los SVN 39, 38, 27, 33 y 40 que lo tienen de cesio. La precisión de los relojes de rubidio es de  $10^{-12}$  segundos y los de cesio de  $10^{-13}$  segundos.

La frecuencia fundamental de emisión de estos osciladores es de 10,23 MHz. El tiempo utilizado por el sistema GPS es un tiempo universal coordinado denominado UTC que define el Observatorio Naval de los Estados Unidos mediante relojes atómicos de hidrógeno.

La unidad del tiempo GPS es el segundo atómico internacional y tiene su origen coincidente con el UTC a las cero horas del 6 de enero de 1980. Así mismo, debemos añadir que los satélites disponen además de:

- Antenas emisoras de ondas de radio (banda L). Con ellas transmiten la información al usuario.
- Antenas emisoras-receptoras de ondas de radio (banda S). Sirven para actualizar su situación a través del sector de control.
- Paneles solares para disponer de la energía necesaria para su funcionamiento.
- Reflectores láser para el seguimiento desde el sector de control.

La vida de los satélites oscila entre los seis y diez años.

GPS CONSTELLATION STATUS FOR 08/24/2012									
PLANE	SLOTS	SVN	PRN	BLOCK-TYPE	CLOCKOUTAGE	DATE	MANU-TYPE	MANU-SUBJECT	
A	1	39	9	IIA	CS				
A	2	52	31	IIR-M	RB				
A	3	38	8	IIA	CS				
A	4	48	7	IIR-M	RB				
A	6	27	27	IIA	CS				
B	1	56	16	IIR	RB				
B	2	62	25	IIF	RB				
B	3	44	28	IIR	RB				
B	4	58	12	IIR-M	RB				
B	5	35	30	IIA	RB				
C	1	57	29	IIR-M	RB				
C	2	33	3	IIA	CS				
C	3	59	19	IIR	RB				
C	4	53	17	IIR-M	RB				
C	6	36	6	IIA	RB				
D	1	61	2	IIR	RB				
D	2	63	1	IIF	RB				
D	3	45	21	IIR	RB	28 AUG 2012	FCSTDV	2012051 - SVN45 (PRN21) FORECAST OUTAGE	JDAY 241/2120 - JDAY 242/0920
D	4	34	4	IIA	RB				
D	5	46	11	IIR	RB				
E	1	51	20	IIR	RB				
E	2	47	22	IIR	RB				
E	3	50	5	IIR-M	RB				
E	4	54	18	IIR	RB				
E	5	23	32	IIA	RB				
E	6	40	10	IIA	CS				
F	1	41	14	IIR	RB				
F	2	55	15	IIR-M	RB				
F	3	43	13	IIR	RB				
F	4	60	23	IIR	RB				
F	5	26	26	IIA	RB				

Figura 30. Estado de la constelación GPS

#### 2.4.1.1.2 SEÑAL DE LOS SATÉLITES

Los satélites de la constelación NAVSTAR constan de un oscilador antes mencionado que genera una frecuencia fundamental  $v_0$  de 10,23 MHz.

A partir de esta frecuencia fundamental se generan dos portadoras en la banda L de radiofrecuencia, denominadas L1 y L2. Además, existen dos formas de código pseudoaleatorio que se modulan sobre estas portadoras, son los códigos C/A y P, además de un mensaje, que da la información de los parámetros orbitales del satélite y del estado del reloj.

Los códigos son una secuencia de +1 y -1, correspondientes a los valores binarios de 0 y 1 respectivamente. Los componentes de la señal son:

- Frecuencia Fundamental
- Portadora L1
- Portadora L2
- Código P
- Código C/A
- Código W
- Mensaje de Navegación

El código C/A (*clear/access*) se repite cada milisegundo, dando como resultado un código de 1023 chips, siendo la longitud aproximada de cada chip de unos 300 m. Este código está declarado de uso civil para todos los usuarios.

El código preciso P se compone de  $2,3547 \cdot 10^{14}$  bits y se repite aproximadamente cada 266,4 días. Este código lleva una palabra denominada *HOW* que indica en qué momento del código está cuando el receptor empieza a recibirlo, de este modo el receptor engancha el código y empieza a medir. El código P es secreto y de uso militar. Se origina a partir de la combinación de dos secuencias de bits, generados a partir de dos registros. La longitud de cada chip es de 30 m. Con el fin de proteger el código P, éste se encripta usando un código W, dando lugar al código Y. Si el código W está en curso se habla de que está conectado el A/S (Anti-Spoofing).

El mensaje de navegación es mandado por los satélites, y consta esencialmente de información sobre el reloj de los satélites, parámetros

orbitales (efemérides), estado de salud de los satélites y otros datos de corrección.

El mensaje consta de 25 grupos de 1500 bits cada uno y divididos en cinco celdas. Cada grupo se transmite con una frecuencia de 50 Hz y tarda 30 s. Esto supone que el mensaje modulado completo sobre ambas portadoras tiene una duración de 12 min. 30 s. Por razones de índole militar, durante un período de tiempo se introdujo un error intencionado en las efemérides radiodifundidas de los satélites, denominado Disponibilidad Selectiva (SA). El 1 de mayo de 2000 este error fue desactivado [Figura 31].

Esto repercutía en el posicionamiento sobre el sistema de referencia WGS84, ya que si la posición de los satélites que nos sirven de referencia está alterada nuestro posicionamiento no se va a realizar en dicho sistema, sino que se va a efectuar en un sistema arbitrario, con un error mayor o menor en función de la cantidad de SA que exista en ese instante. Este problema era importante en posicionamientos absolutos, ya que no podemos saber la posición correcta.

Sin embargo, en posicionamientos diferenciales nos afecta en posición pero no en precisión, ya que la posición relativa de un punto respecto a una referencia (sus incrementos de coordenadas) no está afectada de este error.

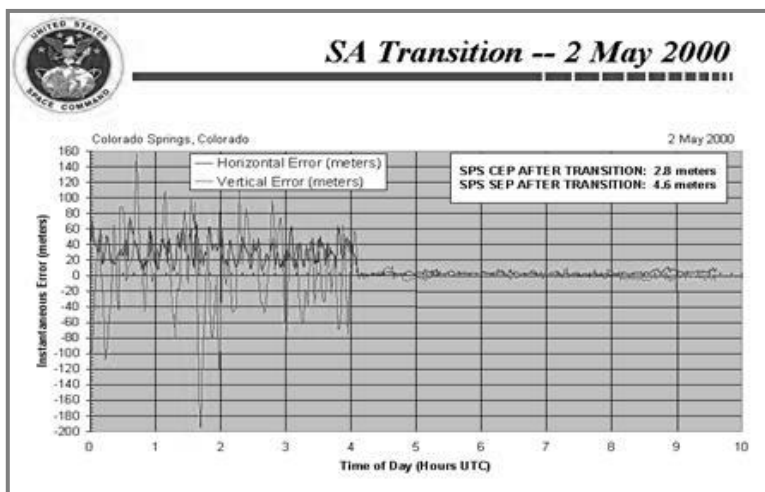


Figura 31. Disponibilidad Selectiva ON/OFF.

### 2.4.1.1.3 SISTEMA DE REFERENCIA

Las coordenadas, tanto de los satélites como de los usuarios que se posicionan con el sistema GPS, están referidas al sistema de referencia WGS84 (Sistema Geodésico Mundial de 1984) [Figura 32].

Estas coordenadas pueden ser cartesianas en el espacio respecto al centro de masas de la Tierra o geodésicas. El sistema tiene las siguientes características:

- Origen en el Centro de Masas de la Tierra.
- El eje Z es paralelo al polo medio.
- El eje X es la intersección del meridiano de Greenwich y el plano del ecuador.
- El eje Y es perpendicular a los ejes Z y X, y coincidente con ellos en el Centro de Masas terrestre.
- Las coordenadas geodésicas están referidas a un elipsoide de revolución con las siguientes características:
  - Semieje mayor: 6.378.137 m.
  - Inversa del aplanamiento: 298,257223563
  - Velocidad angular de rotación:  $7.292.115 \cdot 10^{-11}$  rad/s.

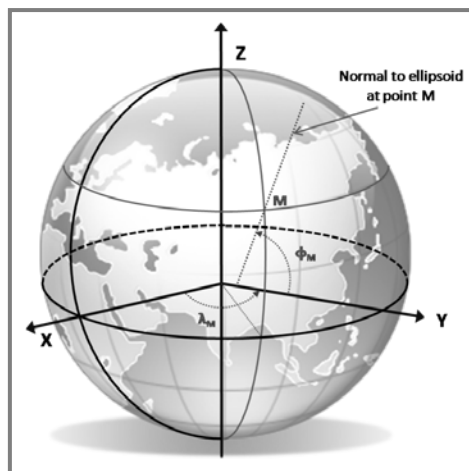


Figura 32. Sistema de coordenadas WGS-84

La transformación de las coordenadas WGS-84 a otro sistema de referencia, y viceversa, es posible con transformaciones tridimensionales de siete parámetros, ya sean calculadas (donde deberemos conocer al menos las coordenadas de tres puntos en ambos sistemas) o establecidas por algún organismo con una gran base de datos.

Para realizar una transformación correcta debemos definir el elipsoide al que queremos referir nuestras coordenadas, la proyección y la zona.

A modo de ejemplo, si queremos transformar puntos con coordenadas WGS-84 a coordenadas en el Datum oficial español, deberemos especificar que se trata del elipsoide Internacional de Hayford, proyección UTM\_ED-50 y zona 28, 29, 30 ó 31 (según el huso donde se encuentren los puntos). Existen otros tipos de transformaciones, como las bidimensionales, las de coordenadas planas y altura, y aquellas en que se introducen modelos del Geoide (globales o zonales) con el fin de obtener alturas ortométricas.

#### **2.4.1.2 SECTOR DE CONTROL**

---

Este sector tiene como misión el seguimiento continuo de todos los satélites de la constelación NAVSTAR para los siguientes fines:

- Establecer la órbita de cada satélite, así como determinar el estado de sus osciladores.
- Hallados los parámetros anteriores, emitirlos a los satélites para que éstos puedan difundirlos a los usuarios. De este modo, el usuario recibe la información de las efemérides de posición de los satélites y el error que se está produciendo en su reloj, todo ello incluido en el mensaje de navegación.

Las Estaciones de Control de la constelación son fundamentalmente:

- Colorado Springs (U.S.A.). Central de cálculo y operaciones.
- Ascensión (Atlántico Sur).
- Hawai (Pacífico Oriental).
- Kwajalein (Pacífico Occidental).

- Diego García (Indico).

Existen además otras estaciones de seguimiento (láser, radar y ópticas), cuyo fin es la obtención de efemérides que no estén afectadas por la disponibilidad selectiva, denominadas precisas, y que están al alcance del usuario a través de organismos científicos como el IGS (*International Geodynamic Service*) o el NGS (*National Geodetic Survey*). Con ellas, tenemos la seguridad de posicionarnos en el sistema WGS-84 con los errores típicos del sistema.

### 2.4.1.3 SECTOR DE USUARIO

---

Este sector lo compone el instrumental que deben utilizar los usuarios para la recepción, lectura, tratamiento y configuración de las señales, con el fin de alcanzar los objetivos de su trabajo. Los elementos son el equipo de observación y el software de cálculo, que puede ser objeto de uso tras la campaña de observación, o bien realizable en tiempo real, donde se obtienen los resultados in situ.

#### 2.4.1.3.1 EQUIPO DE OBSERVACIÓN

---

Lo componen la antena, el sensor y la unidad de control o controlador.

- **La antena de recepción:** tiene la misión de recibir las radiaciones electromagnéticas que emiten los satélites y transformarlas en impulsos eléctricos, los cuales conservan la información modulada en las portadoras. Se denomina centro radioeléctrico de la antena al punto que se posiciona en nuestra observación. Dado que éste no suele coincidir con el centro físico, es conveniente orientar todas las antenas de una misma observación en la misma dirección con el fin de que el error se elimine.
- **El sensor:** recibe los impulsos de la antena receptora, y reconstruye e interpreta los componentes de la señal, es decir, las portadoras, los códigos y el mensaje de navegación. En definitiva, lo que hace es desmodular la señal original. El proceso es el siguiente; el sensor correla los códigos, es decir, lo compara con una réplica que él mismo genera, y de este modo halla el tiempo que ha tardado en llegar la señal al

receptor, obteniendo la distancia al satélite multiplicando esa diferencia de tiempos por el valor de la velocidad de propagación de las ondas en el vacío (aproximadamente unos 300.000 Km/s). Como estas distancias están afectadas de errores, se las denomina pseudodistancias. Para obtener medidas de pseudodistancia mediante diferencia de fase de las portadoras, el sensor reconstruye éstas por modulación bifase-binaria de los códigos modulados en ellas.

- **El controlador:** realiza las siguientes tareas:
  - Controlar el sensor.
  - Gestionar la observación.
  - Almacenar los datos.

En definitiva, con él vamos a marcar las pautas y modos de trabajo que consideremos oportunos en cada caso. Entre estas pautas destacan:

- Tipo de observación (estática, stop & go, cinemática, etc.).
- Parámetros de la observación (máscara de elevación, modo de grabación, determinación de las épocas, datos meteorológicos, etc.).
- Estado y salud de los satélites.
- Seguimiento de los mismos y calidad de la señal que transmiten.
- Filtrado de observaciones y datos.
- Definición y atributos de los puntos de observación.
- Estados de aviso en conceptos de geometría y pérdidas de ciclo.
- Definición del sistema de referencia.
- Tiempos de observación y actualización de tiempos.
- Control del nivel energético.
- Posición inicial y secuencial.



El buen manejo del controlador es fundamental en los procesos de observación, así como el conocimiento y aplicación de los parámetros adecuados en cada situación o necesidad.

#### 2.4.1.3.2 TIPOS DE RECEPTORES

---

Fundamentalmente existe de tres tipos:

- **Navegación.** Reciben únicamente observables de código (tiempos). Son los instrumentos menos precisos, aunque su evolución está siendo espectacular. Sus aplicaciones más comunes son la navegación, catastro, SIG y levantamientos de escalas menores de 1/5.000 en los más sofisticados.
- **Monofrecuencia.** Reciben las observables de código y fase de la portadora L1. La precisión de estos instrumentos ya es significativa, y son de aplicación topográfica y geodésica en pequeñas distancias.
- **Bifrecuencia.** Reciben las observables de código y fase de las portadoras L1 y L2. La precisión y el rendimiento son mucho mayores debido a la posibilidad de combinar los datos y formar en post-proceso combinaciones de observables que agilizan el cálculo y eliminan los errores de retardo atmosférico. Están indicados para trabajos de precisión y allí donde el rendimiento y los buenos resultados requeridos sean máximos.

### 2.4.2 SISTEMA GLONASS

A principios de los años setenta, quizá como una respuesta al desarrollo del Sistema GPS, el antiguo Ministro de Defensa Soviético desarrolló el Sistema Global de Navegación por Satélite (GLONASS). El Sistema GLONASS es similar al GPS en muchos aspectos, aunque también hay muchas diferencias [54].

En el año 1993, oficialmente el Gobierno Ruso colocó el programa GLONASS en manos de las Fuerzas Espaciales Militares Rusas. Este organismo es el responsable del desarrollo de satélites GLONASS, de su mantenimiento y puesta en órbita, y certificación a los usuarios.

Este organismo opera en colaboración con el CSIC (*Coordinational Scientific Information Center*), el cual publica la información sobre GLONASS. Durante los años ochenta, la información acerca de GLONASS era escasa. No se sabía mucho de las órbitas de los satélites ni de las señales usadas para transmisión de las señales de navegación.

Pero actualmente, gracias a estudios e investigaciones sobre este sistema, se dispone ya de gran cantidad de información acerca de GLONASS. Los rusos, publican el documento ICD (*Interface Control Document*). Este documento es similar en estructura al Segmento Espacial del sistema NAVSTAR GPS, donde se describe el sistema, sus componentes, estructura de la señal y el mensaje de navegación para uso civil.

La constelación ha experimentado un gran progreso desde los años 1994 y 1995. Los planes de GLONASS son ofrecer dos niveles de servicio:

- El Channel of Standard Accuracy (CSA), similar al Standar Positioning Service (SPS) del Sistema GPS, disponible para uso civil.
- El Channel of High Accuracy (CHA), similar al Precise Positioning Service (PPS) del Sistema GPS, disponible solo para usuarios autorizados.

#### **2.4.2.1 SECTOR ESPACIAL**

---

El sector espacial está formado por la constelación de satélites [Figura 33]. La constelación completa se compone 24 satélites en tres planos orbitales, cuyo nodo ascendente es de  $120^\circ$  y argumento de latitud de  $15^\circ$ . Cada plano contiene 8 satélites espaciados regularmente, con argumento de latitud de  $45^\circ$ . Los planos están inclinados  $64,8^\circ$  respecto al Ecuador.

##### **2.4.2.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS SATÉLITES**

---

Los satélites GLONASS se encuentran a una distancia de aproximadamente 19.100Km y se sitúan en órbitas casi circulares con semieje mayor de aproximadamente 25.510 Km, siendo el periodo orbital de 675,8 minutos, es decir, 11 horas y 15 minutos. Esto garantiza, con la constelación completa, la visibilidad de un mínimo de 5 satélites en todo el mundo con

adecuada geometría, es decir, la constelación GLONASS proporciona una cobertura de navegación continua y global para la ejecución satisfactoria de observaciones de navegación.

Cada satélite transmite una señal de navegación de radiofrecuencia, conteniendo un mensaje de navegación para los usuarios. Los planos se numeran del 1 al 3. Cada satélite, según el plano en el que esté, 1, 2 ó 3, se numera del 1 al 8, del 9 al 16 y del 17 al 24 respectivamente.

Actualmente hay 24 satélites operando y varios más se encuentran en reserva y pruebas.

Cada satélite GLONASS dispone de un pequeño reflector, que es usado para el seguimiento de los satélites por láser desde las estaciones de control.

Existen 4 prototipos o modelos de satélite. Además el gobierno ruso desarrolla un nuevo prototipo de satélites que irán sustituyendo a los antiguos para formar la nueva Constelación GLONASS-M. Los test con los satélites GLONASS-M comenzaron en 1996.

Las principales características de la constelación GLONASS-M son:

- La esperanza de vida de los satélites será de 5 años, frente a los 3 años de los anteriores satélites.
- Transmisión del código C/A en L2 para uso civil.
- Estabilidad en los relojes de  $1 \cdot 10^{-13}$  segundos frente a la actual de  $5 \cdot 10^{-13}$  s.
- Mejora de las precisiones de las efemérides.
- Capacidad del Sector de Control para establecer la mala salud de los satélites a los 10 segundos de producirse el fallo.
- Transmisión instantánea del desfase entre las escalas de tiempo GPS y GLONASS.
- Reducción del rms (error medio cuadrático) a 5 metros frente al valor actual de 10 metros.

GLONASS Constellation Status at 24.08.2012 based on both the almanac analysis and navigation messages received at 10:00 24.08.12 (UTC) in IAC PNT TsNIImash										
Orb. slot	Orb. pl.	RF chnl	# GC	Launched	Operation begins	Operation ends	Life-time (months)	Satellite health status		Comments
								In almanac	In ephemeris (UTC)	
1	1	01	730	14.12.09	30.01.10		32.4	+	+ 10:30 24.08.12	In operation
2	1	-4	728	25.12.08	20.01.09		44.0	+	+ 10:45 24.08.12	In operation
3	1	05	744	04.11.11	08.12.11		9.7	+	+ 10:47 24.08.12	In operation
4	1	06	742	02.10.11	25.10.11		10.8	+	+ 08:59 24.08.12	In operation
5	1	01	734	14.12.09	10.01.10		32.4	+	+ 08:59 24.08.12	In operation
6	1	-4	733	14.12.09	24.01.10		32.4	+	+ 08:59 24.08.12	In operation
7	1	05	745	04.11.11	18.12.11		9.7	+	+ 09:30 24.08.12	In operation
8	1	06	729	25.12.08	12.02.09		44.0	+	+ 10:00 24.08.12	In operation
9	2	-2	736	02.09.10	04.10.10		23.7	+	+ 10:45 24.08.12	In operation
10	2	-7	717	25.12.06	03.04.07		66.0	+	+ 10:44 24.08.12	In operation
11	2	00	723	25.12.07	22.01.08		56.0	+	+ 08:59 24.08.12	In operation
12	2	-1	737	02.09.10	12.10.10		23.7	+	+ 08:59 24.08.12	In operation
13	2	-2	721	25.12.07	08.02.08		56.0	+	+ 08:59 24.08.12	In operation
14	2	-7	715	25.12.06	03.04.07		66.0	+	+ 08:44 24.08.12	In operation
15	2	00	716	25.12.06	12.10.07		68.0	+	+ 10:45 24.08.12	In operation
16	2	-1	738	02.09.10	11.10.10		23.7	+	+ 10:45 24.08.12	In operation
17	3	04	746	28.11.11	23.12.11		8.9	+	+ 10:45 24.08.12	In operation
18	3	-3	724	25.09.08	26.10.08		47.0	+	+ 10:45 24.08.12	In operation
19	3	03	720	26.10.07	25.11.07		58.0	+	+ 10:45 24.08.12	In operation
20	3	02	719	26.10.07	27.11.07		58.0	+	+ 10:45 24.08.12	In operation
21	3	04	725	25.09.08	05.11.08		47.0	+	+ 08:59 24.08.12	In operation
22	3	-3	731	02.03.10	28.03.10		29.8	+	+ 08:59 24.08.12	In operation
23	3	03	732	02.03.10	28.03.10		29.8	+	+ 08:59 24.08.12	In operation
24	3	02	735	02.03.10	28.03.10		29.8	+	+ 09:30 24.08.12	In operation
21	3	-5	701	26.02.11			17.9			Flight Tests
2	1		743	04.11.11			9.7			Spares
14	2		722	25.12.07	25.01.08	12.10.11	56.0			Spares
7	1		712	26.12.04	07.10.05	14.12.11	92.0			Spares
17	3		714	25.12.05	31.08.06	19.12.11	80.0			Spares
3	1		727	25.12.08	17.01.09	08.09.10	44.0			Maintenance
22	3		726	25.09.08	13.11.08	31.08.09	47.0			Maintenance

Figura 33. Estado de la constelación GLONASS

### 2.4.2.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS SEÑALES

Los satélites GLONASS transmiten dos señales de ruido pseudoaleatorio. Los satélites GLONASS llevan a bordo relojes de atómicos de Cesio con un oscilador de frecuencia fundamental de 5 MHz. A partir de esta frecuencia fundamental se pueden obtener o modular los códigos C/A y P, de frecuencias 0,511 MHz y 5,11 MHz respectivamente.

En la señal también se introduce un mensaje de 50 bits por segundo. La banda L1 funciona en la frecuencia  $1.602 + 0,5625 \cdot k$  MHz, donde k es el canal (0–24), lo genera un rango de frecuencias que van desde 1.602 – 1.615.5MHz. La banda L2 funciona en la frecuencia  $1.246 + 0.4375 \cdot k$  MHz, lo que genera un rango de frecuencias que van desde 1.246 – 1.256,5 MHz.

Algunas transmisiones GLONASS crean interferencias con las señales astronómicas de radio, que usan las bandas de frecuencia de 1.610,6 – 1.613,8 y 1.660 – 1.670 MHz, que corresponden a los canales GLONASS

del 15 al 20. Además, las transmisiones GLONASS de frecuencias superiores a 1.610 MHz tienen interferencias con las señales del servicio de satélites para comunicaciones móviles en las frecuencias que van desde 1.610 – 1.626,5 MHz. Para solucionar esto, y por la necesidad de minimizar las interferencias, las autoridades encargadas del Sistema GLONASS decidieron reducir el número de frecuencias usadas (y por lo tanto el número de canales), y bajar el intervalo de frecuencias utilizadas. Así, el sistema constará de 12 canales de frecuencia, más dos adicionales para los tests de control.

De esta forma la banda L1 se encontrará entre 1.598,0625 – 1.604,25 MHz y la banda L2 se encontrará entre 1.242,9375 – 1.247,75 MHz.

Pero la cuestión que se plantea es cómo introducir los 24 satélites de la constelación completa en sólo 12 canales. Lo que se plantea es introducir dos satélites antipodales de un mismo plano en el mismo canal, esto es, satélites separados 180° de argumento de latitud, de forma que un usuario colocado en cualquier punto de la Tierra nunca recibirá señales simultáneas de los dos satélites situados en el mismo canal.

GLONASS transmite el código P en ambas bandas L1 y L2 y el código C/A, de momento sólo en la banda L1, pero está programado que la constelación GLONASS-M lo transmita también en la banda L2 para uso civil. El código C/A tiene una longitud de 511 chips y se propaga con una velocidad de 511 Kchips/s y por lo tanto con una repetitividad de 1 milisegundo. El código P tiene una longitud de  $5,11 \cdot 10^6$  chips y se propaga con una velocidad de 5,11 Mchips/s, cuya repetitividad es de 1 segundo. A diferencia de los satélites GPS, todos los satélites GLONASS transmiten los mismos códigos.

Esto es así porque en GLONASS la identificación de los satélites se hace por la frecuencia de las portadoras y no por el PRN de los códigos como se hace en GPS.

#### 2.4.2.1.3 MENSAJE DE NAVEGACIÓN

---

El mensaje de navegación se transmite con una velocidad de 50 bit/s y se modula junto con los códigos C/A y P. El mensaje de navegación GLONASS

del código C/A divide los datos en datos operacionales o inmediatos y datos no operacionales o no inmediatos.

- Los *datos operacionales* son las efemérides, los parámetros de reloj y época del reloj del satélite. Las efemérides de los satélites se dan en términos de posición, velocidad, y vector de aceleración de la época de referencia.
- Los *datos no operacionales* comprenden el almanaque (o efemérides aproximadas) de la constelación, junto con los estados de salud de todos los satélites GLONASS. Los datos de salud de los satélites no tienen tiempo de actualización. Además, en los datos no operacionales hay un parámetro que indica la diferencia entre el sistema de tiempo GLONASS y el UTC. Estos datos se determinan para el comienzo de cada día.

Los parámetros de efemérides son generalmente cargados en cada satélite una vez al día. El tiempo desde la última grabación o actualización de los datos del mensaje se determina por un parámetro, que determina la edad de las efemérides en días.

Los parámetros de reloj son grabados dos veces al día. El mensaje completo tiene una duración de 2 minutos y 30 segundos, pero las efemérides y la información de reloj se repite cada 30 segundos.

Las autoridades GLONASS no han publicado hasta ahora los contenidos del mensaje de navegación del código P. Sin embargo, se sabe que el mensaje completo dura 12 minutos y que las efemérides y la información de reloj se repite cada 10 segundos.

El Sistema GLONASS dispone de un sistema de tiempos y de un sistema de referencia propio y distinto al de GPS. El tiempo GLONASS está referido al UTC (SU). El UTC (SU) se diferencia en unos microsegundos al UTC (BIPM). El NTFS (National Time and Frequency Service) se encarga de que el desfase sea de un microsegundo o menos. Para ello, en determinadas ocasiones se introduce un salto de unos segundos, a diferencia del tiempo GPS que no requiere de estos saltos.

2.4.2.1.4 SISTEMA DE REFERENCIA

Las efemérides GLONASS están referidas al Datum Geodésico Parametry Zemli 1990 o PZ-90, o en su traducción, Parámetros de la Tierra 1990 o PE-90.

Este sistema reemplazó al SGS-85, usado por GLONASS hasta 1993. El sistema PZ-90 es un sistema de referencia terrestre con coordenadas definidas de la misma forma que el Sistema de Referencia Internacional Terrestre (ITRF).

Parámetro	Valor
Rotación de la Tierra	$72.92115 \cdot 10^{-6}$ rad/s
Constante gravitacional	$398600.44 \cdot 10^9$ m <sup>3</sup> /s <sup>2</sup>
Constante gravitacional de la atmósfera	$0.35 \cdot 10^9$ m <sup>3</sup> /s <sup>2</sup>
Velocidad de la luz	299792458 m/s
Semieje mayor del elipsoide	6378136 m
Aplanamiento del elipsoide	1 / 298.257839303
Aceleración de la gravedad en el ecuador	978032.8 mgal

Tabla 3. Parámetros del Datum PZ-90

La realización del Sistema PZ-90 por medio de la adopción de coordenadas de estaciones de referencia ha dado como resultado el desfase en el origen y orientación de los ejes, así como la diferencia en escala con respecto al ITRF y al Sistema WGS-84 también.

### **2.4.2.2 SECTOR DE CONTROL**

---

El sector de control está formado por un Sistema Central de Control (SCC) en la región de Moscú (Golitsyno-2) y una red de estaciones de seguimiento y control (*Command Tracking Stations*, CTS), emplazadas por toda el área alrededor de Rusia.

El Sector de Control GLONASS, al igual que el de GPS debe seguir y vigilar el estado de sus satélites, determinar las efemérides y errores de los relojes de los satélites, es decir, la diferencia entre el tiempo GLONASS y la escala de tiempo UTC (SU). Además también deben actualizar los datos de navegación de los satélites.

Estas actualizaciones se realizan dos veces al día. Las estaciones de control (CTSs) realizan el seguimiento de los satélites y almacenan los datos de distancias y telemetría a partir de las señales de los satélites. La información obtenida en las CTSs es procesada en el Sistema Central de Control (SCC) para determinar los estados de las órbitas y relojes de los satélites, y para actualizar el mensaje de navegación de cada satélite.

Esta información es enviada a cada satélite por medio de las CTSs. Las CTSs calibran periódicamente los datos de distancias a los satélites mediante láser. Para ello, los satélites GLONASS van provistos de unos reflectores especiales. La sincronización de todos estos procesos en el Sistema GLONASS es muy importante.

Para conseguir esta sincronización, se dispone de un reloj atómico de hidrógeno de alta precisión, el cual determina la escala de tiempo GLONASS. Los satélites GLONASS llevan a bordo un reloj de cesio y se sincronizan respecto a la State Etalon UTC (CIS) en Mendeleev, a través de la escala de tiempo del sistema GLONASS.

A todas estas estaciones de control debemos añadir otras estaciones de seguimiento que se utilizan para obtener los parámetros de transformación del Sistema GLONASS PZ-90 al Sistema GPS WGS-84, además de la determinación de las órbitas y observación y análisis de las anomalías de los satélites.



Estos parámetros de transformación se aplican cuando se trabaja con el sistema combinado GPS/GLONASS. Estas estaciones están repartidas por todo el mundo y utilizan técnicas láser, radar y ópticas. Estos parámetros son calculados por mínimos cuadrados utilizando nueve días de datos de seguimiento.

Los rusos han anunciado que no tienen previsto introducir ninguna medida intencionada de degradación de la precisión del sistema. Las estaciones de control de las Fuerzas Espaciales Rusas publican unos boletines, llamados NAGUSs para los usuarios GLONASS con noticias, estado y anomalías del sistema, para así anunciar la inutilidad de alguno o varios satélites.

Otras organizaciones, como *GLONASS Group* del Laboratorio de Lincoln de Massachusetts o el *DLR-DFD Neustrelitz Remote Sensing Ground Station* en Alemania, también controlan la actividad de GLONASS. Las anomalías se producen cuando los parámetros que manda el satélite en su mensaje de navegación son incorrectos y el parámetro de salud indica que está sano. El resultado es una incorrecta pseudodistancia y trae consigo posicionamientos incorrectos.

Las anomalías del sistema se determinan por medio de las estaciones de control, que hacen uso del algoritmo RAIM. Esto consiste en receptores autónomos de seguimiento íntegro que detectan anomalías en la transmisión de datos, aun figurando un buen estado de salud en los mensajes de navegación y almanaques. Además, si un receptor dispone de este algoritmo RAIM puede detectar fácilmente estas anomalías.

### **2.4.2.3 SECTOR DE USUARIO**

---

El Sistema GLONASS es un sistema militar y civil. Todos los usuarios militares y civiles constituyen el sector usuario.

El desarrollo y diseño de nuevos receptores por parte de los fabricantes está en continua evolución. Un equipo de recepción de señales GLONASS, al igual que uno de GPS, está formado por una antena y un receptor. La antena suele llevar un plano de tierra para evitar el efecto *multipath*, es decir, la recepción de señales reflejadas en el suelo u otros objetos, que

empeoran la precisión. Los receptores disponen de un reloj para sincronizar las señales recibidas.

Existen dos generaciones de receptores GLONASS. La primera generación contenía 1,2 y 4 canales. La segunda generación es ya mucho más compacta y ligera, incluyendo 5, 6 y 12 canales, usados para aplicaciones civiles y capaces de operar con las dos constelaciones GPS/GLONASS.

### **2.4.3 OTROS SISTEMAS**

Vamos a señalar otros sistemas que se están desarrollando al respecto, si bien todavía no están operativos.

#### **2.4.3.1 GALILEO**

Los Sistemas de Navegación por Satélite, denominados genéricamente como GNSS, han supuesto una revolución en la navegación, el posicionamiento, la geodesia y el desarrollo de aplicaciones específicas o de valor añadido dentro de los más diversos campos.

Hasta ahora, hemos hablado de dos sistemas básicos, uno desarrollado por los Estados Unidos, el GPS, y otro desarrollado por Rusia, el GLONASS. Ambos sistemas fueron ideados bajo premisas militares, y en la actualidad su control depende de entidades armadas, como es el caso del Departamento de Defensa de los Estados Unidos, que lleva el control del GPS.

Sobre estos dos sistemas, se han desarrollado una serie de mejoras encaminadas a incrementar las prestaciones de los mismos y garantizar su señal, pero siempre dependientes de las constelaciones básicas, estos sistemas son los denominados SBAS, que incluyen el EGNOS Europeo, el WAAS de los Estados Unidos y el MSAT de Japón, y los GBAS o elementos de área local. Todos estos componentes constituyen el denominado GNSS – 1 o sistema actual.

La siguiente generación de sistemas de navegación y posicionamiento por satélite se denomina GNSS – 2, y constituye una mejora sobre los sistemas actuales. Ello supone una nueva oportunidad para incorporarse a esta

tecnología emergente y con un amplio horizonte tecnológico y económico. Ante ello, la Comunidad Europea decidió diseñar un plan encaminado a dotar a Europa de un Sistema de Navegación por Satélite independiente de los actuales, y que permita a la industria europea posicionarse en este campo frente a sus homónimos de Estados Unidos; este sistema se ha denominado GALILEO [56].

GALILEO será el Sistema Europeo de Navegación por Satélite, consistente en una constelación de satélites situados en órbita media (MEO), con su correspondiente infraestructura terrestre. A esta constelación, se le añadirán los correspondientes elementos de aumentación regional o local para la correspondiente mejora de prestaciones donde así se considere necesario.

Así mismo, y dentro del programa, se incluye el desarrollo de los elementos de usuario, básicamente los receptores, las aplicaciones y servicios, todo ello, bajo la premisa de interoperabilidad con los sistemas actuales, básicamente el GPS, para asegurar el concepto de Sistema de Navegación Global.

En su definición se han seguido criterios estrictamente civiles, aplicándose esta premisa en la definición de prestaciones, niveles de servicio, operación y provisión de los diferentes servicios, por lo que se puede afirmar que es un sistema de carácter totalmente civil.

#### 2.4.3.1.1 ARQUITECTURA DE GALILEO

---

El sistema GALILEO está compuesto por cuatro componentes principales [Figura 34]: Elemento global, elemento regional, elemento local y elemento de usuario.

- **Elemento global:** Este elemento proporcionará los servicios básicos de GALILEO a nivel global y estará compuesto por una constelación de satélites encargados de proporcionar la señal de navegación. En los estudios iniciales se ha propuesto una constelación de 30 satélites en órbita media (MEO) distribuidos en tres planos orbitales de 54º y a una altitud de alrededor de 23.000 Km. Los satélites son controlados y

seguidos por un segmento terreno compuesto por centros de control, estaciones de enlace para establecer contacto con los satélites, una red de estaciones de referencia que controla la señal enviada por los satélites y determina las órbitas de estos con una alta precisión. Aquellas variaciones o modificaciones que se realicen sobre las efemérides de los satélites, son transmitidas a los usuarios mediante la señal de navegación. Finalmente, los diferentes elementos del segmento terreno, están unidos mediante una red de comunicaciones. El segmento terreno, puede ir provisto de elementos de gestión de servicios de comunicaciones que pueden ir unidos a servicios de búsqueda y rescate, o de forma más genérica, servicios de comunicaciones unidos a información de posicionamiento. El componente global estará gestionado y controlado por entidades civiles, que inicialmente serán europeas, existiendo no obstante un interface civil – militar.

- **Elemento regional:** se crea para conseguir unas mayores prestaciones sobre una región determinada, así como para proporcionar información de integridad sobre dicha región. Si bien no existe aún una definición precisa sobre cómo se conformará este elemento en las diferentes regiones, se sabe que se compondrá de un sistema de control de integridad formado por una red de estaciones localizadas en puntos conocidos que enviarán la información de integridad a una central de proceso y control. Una vez procesados los diferentes mensajes recibidos, el resultado final se incluirá en el mensaje de los satélites. Al objeto de asegurar la protección del sistema, los datos regionales no serán enviados de forma directa a los satélites, sino a través de un componente global que controlará todos los accesos a los satélites GALILEO. Con este concepto, el máximo número de regiones a cubrir es de seis, debido a las limitaciones existentes en la transmisión de datos en el mensaje de información de navegación. No obstante, se está analizando la posibilidad de integrar GALILEO con otros sistemas, como el LORAN C, lo que permitiría aumentar el número de regiones
- **Elemento local:** este elemento tiene por objetivo el proporcionar un incremento de la integridad y la precisión sobre áreas locales, tales como aeropuertos, puertos, etc. Para ello se recurrirá a estaciones diferenciales locales, situadas en puntos conocidos con una alta

precisión, que podrá calcular los errores existentes en la señal GALILEO, y difundirlo a los usuarios a través de un medio de comunicación de corto alcance (por ejemplo VHF), que permita un alcance de unos 50 Km.

- **Elemento usuario:** Este elemento lo constituye el receptor GALILEO, encargado de extraer la información contenida en las señales enviadas por los satélites y presentarla al usuario en forma comprensible. Estos receptores serán desarrollados para los diferentes tipos de usuarios y en función de las necesidades del mercado de las aplicaciones, por lo que en la fase de definición del programa se deberá prestar especial atención a los usuarios, ya que es necesario asegurar que la arquitectura de GALILEO se diseña para optimizar los requisitos del receptor. El diseño de los diferentes elementos del receptor, deberá realizarse teniendo en cuenta la posible complementariedad con otros sistemas y su hibridación, al objeto de cumplir las necesidades de cierto tipo de usuario. Será necesario tener la seguridad de que se puede utilizar un receptor de referencia para formar parte de un sistema de validación y certificación para garantizar el servicio. La hibridación con otros sensores, tales como odómetros, inerciales, etc., tendrán un impacto directo sobre los receptores, y se aplicará para incrementar la integridad, disponibilidad y continuidad de servicio en aquellas áreas donde se pueda ver interrumpida la visibilidad de los satélites.

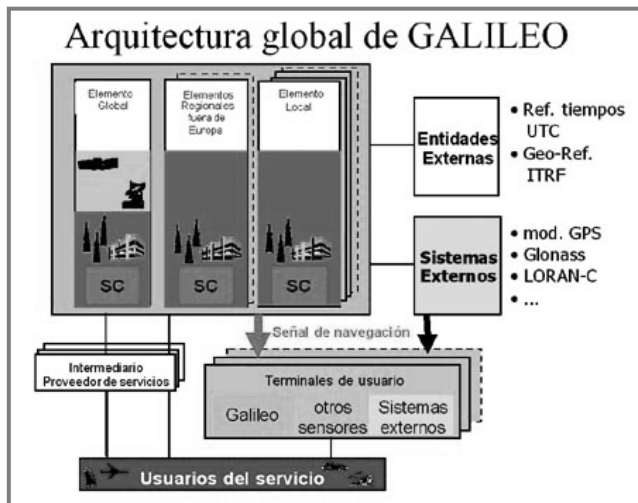


Figura 34. Arquitectura de GALILEO

#### 2.4.3.1.2 SERVICIOS DE GALILEO

---

Los servicios GALILEO se obtienen de la combinación de la capacidad del sistema y las necesidades a nivel de usuario. De ello, se han derivado la definición de los siguientes servicios:

- **Servicio abierto:** este servicio proporcionará señales de navegación, posicionamiento y tiempo a las que se podrá acceder de forma gratuita, de modo similar al GPS. Dado su carácter de gratuidad, será accesible al mercado de masas dentro de las aplicaciones de navegación, tales como las aplicaciones de navegadores de coches, teléfonos móviles, usos particulares, etc. Así mismo, proporcionará servicios horarios (UTC) cuando se empleen receptores en posiciones fijas, lo que permitirá su empleo en usos científicos o control y sincronismo de redes.
- **Servicio Comercial:** este servicio proporcionará un valor añadido con respecto al Servicio Abierto, pudiendo disponer de prestaciones mejoradas en base al diseño de la señal para: Difusión de datos encriptados que den un valor añadido sobre el servicio abierto. Aplicaciones de área local con alta precisión (centimétrica). Señales de referencia para permitir la integración de GALILEO en aplicaciones de posicionamiento de índole profesional y para referencia en la redes de comunicaciones inalámbricas. Las prestaciones de este servicio podrán ser definidas por los proveedores de servicio en base a la calidad de los datos comerciales difundidos y las prestaciones conseguidas por los componentes locales.
- **Servicios “Safety of Life”:** Las prestaciones de este servicio han sido obtenidas a partir de los requisitos de la OACI para Aproximación y aterrizaje y Guiado Vertical (el denominado APV II). Estas prestaciones se consideran suficientes para cubrir no solo las necesidades aeronáuticas, sino las de otros modos de transporte, pudiendo ser usado como medio único de navegación al disponer de una disponibilidad del 99.9%. El área de cobertura de este servicio será global, y la arquitectura de GALILEO se está optimizando para lograr este objetivo. En [Figura 35] podemos apreciar en que bandas opera.

- ***Servicio Público Regulado:*** este servicio se dará sobre frecuencias dedicadas para aplicaciones específicas y en principio sobre los países de la Unión Europea, usándose para: Aplicaciones civiles relacionadas con seguridad, policía, protección civil, servicios de emergencia y otras actividades gubernamentales. Aplicaciones críticas relacionadas con energía, comunicaciones o transporte. Actividades económicas e industriales que se consideren estratégicas para Europa. Este servicio será diseñado para tener la robustez suficiente ante interferencias provocadas o accidentales, agresiones de tipo accidental y con fines de agresión, asegurar la continuidad ante cualquier circunstancia o contingencia. Por sus características y carácter estratégico, su uso estará limitado a los países miembros de la Unión Europea y Estados participantes autorizados, aplicándose las técnicas de acceso adecuadas para mantener controlados a sus usuarios.
- ***Servicios proporcionados por elementos locales:*** estos elementos proporcionarán correcciones diferenciales locales para lograr precisiones de posicionamiento mejores de 1 metro, pudiendo generar información de integridad con tiempos de alarma de 1 segundo, y pudiendo adaptar el formato de la señal transmitida a los datos adicionales a ser proporcionados. En el caso de usar la técnica denominada TCAR (Resolución de ambigüedad por tercera portadora) permitirá lograr precisiones mejores de 10 cm.
- ***Servicios de búsqueda y rescate:*** este servicio estará coordinado con los actuales COSPAS-SARSAT y será compatible tanto con GMDSS y la red de transporte transeuropa, permitiendo mejorar la detección y precisión de localización de las balizas disponibles en relación a los sistemas actuales. La determinación de la posición de estas balizas se llevará a cabo por COSPAS-SARSAT en base a las señales y datos proporcionados por GALILEOS, lo que permitirá pasar de la actual precisión de 5 Km. a una precisión de 10 metros para balizas equipadas con receptores GALILEO.

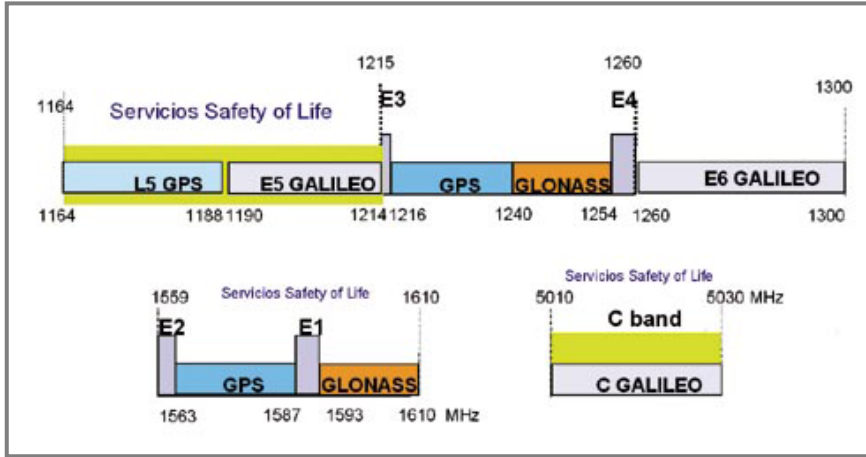


Figura 35. Bandas GPS, GLONASS y GALILEO

### 2.4.3.2 COMPASS

El sistema de navegación por satélite Compass (también conocido como Beidou-2) es un proyecto que lleva a cabo la República Popular China y que tiene como objetivo desarrollar un sistema de navegación por satélite independiente. El actual sistema Beidou (constituido por 4 satélites) es de carácter experimental y tiene una cobertura y aplicaciones limitadas (local). Sin embargo, con el sistema Compass, China planea desarrollar un verdadero sistema global de navegación por satélite formado por 35 satélites.

Como se ha dicho, el nuevo sistema será una constelación de 35 satélites. Ésta incluirá 5 satélites de órbita terrestre geosíncrona (GEO) y 30 de órbita terrestre media (MEO), que ofrecerán una completa cobertura del globo. El sistema estará preparado para proveer dos niveles de servicios; servicios libres para el pueblo chino y servicios autorizados solo para uso militar.

Los servicios libres tendrán una exactitud de localización con un error inferior a los 10 metros de distancia, una sincronización de reloj con un error de unos 50 nanosegundos y una precisión en la medición de la velocidad de 0.2 m/s de margen.



Los servicios militares serán aún más precisos que los anteriores, y podrán ser usados para comunicaciones, además de que suministrarán información sobre el estado del sistema.

Se prevé que Compass, la segunda generación, cuente con entre 12 y 14 satélites entre 2011 y 2015. Para 2020, ya plenamente operativo deberá contar con 30 satélites. De momento en abril de 2011 ya contaban con 8 en órbita.

## 2.5 SISTEMAS GLOBALES DE NAVEGACIÓN POR SATÉLITE. GNSS

Los sistemas de navegación están fundamentados en sistemas de posicionamiento global, ofreciendo diversas precisiones en función de las distintas características de cada sistema, y aunque el uso del GPS y el GLONASS se haya generalizado para aplicaciones civiles, a causa de las prestaciones que ofrecen y de la progresiva bajada de los costes, ni el GPS ni el GLONASS actualmente, ya sea en conjunto o por sí solos, cumplen con los requisitos necesarios para satisfacer ciertas exigencias para diversos tipos de aplicaciones, ni evidentemente para la Navegación.

Es por ello que, o bien, se debe de combinar con otros sistemas de posicionamiento, o bien, se requiere de ciertas implementaciones para que sean aceptados como adecuados medios de navegación, es decir, complementándolos con los denominados sistemas de aumentación.

Si el GNSS plantea un futuro lleno de posibilidades, primero han de resolverse multitud de cuestiones, como capacidades de los nuevos sistemas, interoperabilidad con el GPS o costes entre otras cosas. Factores que implican a multitud de organizaciones, como agencias espaciales encargadas del desarrollo del sistema, gobiernos y otras agencias nacionales e internacionales encargadas de cuestiones legislativas.

Han proliferado en multitud de países agencias, publicaciones, asociaciones de GNSS con el fin de proponer aplicaciones, soluciones y acuerdos así como educar sobre esta tecnología, debido en parte a su prometedor futuro, y en parte a su complejo entorno internacional [57].

Con ayuda de todos estos entes, se pretende ir desarrollando un sistema auténticamente global que cumpla todos los requerimientos necesarios como sistema único de navegación y posicionamiento.

## **2.5.1 NECESIDADES DE UN SISTEMA DE NAVEGACIÓN**

Las prestaciones de un sistema de navegación se definen en función de cuatro parámetros básicos: precisión, integridad, continuidad y disponibilidad como se explica en [58].

### **2.5.1.1 PRECISIÓN**

---

La precisión en el cálculo de la posición y el tiempo por parte de un receptor viene limitada por el balance de errores del sistema de radionavegación. En particular, tenemos los siguientes factores:

- Errores en satélite: Son debidos básicamente a problemas en los transpondedores de comunicaciones, tales como las no linealidades del amplificador, y a las derivas de los relojes de referencia.
- Determinación de la órbita.
- Predicción de la órbita y sus efemérides.
- Sincronización entre los generadores de señal de los satélites.
- Perturbación atmosférica: perturbaciones ionosféricas y troposféricas.
- Multicamino.
- Geometría satélite-usuario (DOP-geometric dilution).
- Características del receptor.

### **2.5.1.2 INTEGRIDAD**

---

Es la probabilidad de que el servicio de navegación tenga la precisión especificada o el usuario disponga de avisos cuando la información suministrada por el sistema no sea utilizable.

La definición de integridad para cada aplicación debe incluir la definición del nivel de servicio nominal y los límites de alarma vertical y/o horizontal, el periodo de detección y emisión de alarmas, la probabilidad de falsas

alarmas y la probabilidad de que el sistema esté fuera de especificaciones y no se avise al usuario en el margen de tiempo especificado.

### **2.5.1.3 CONTINUIDAD**

---

La continuidad del servicio es la habilidad del sistema de navegación de realizar sus funciones sin interrupciones. La falta de continuidad del servicio puede tener su origen en problemas de disponibilidad, falsas alarmas emitidas por el servicio de integridad o pérdidas de señal por problemas de ocultación (por ejemplo, en la ciudad).

### **2.5.1.4 DISPONIBILIDAD**

---

Es la probabilidad de un usuario, en una zona geográfica y un instante del tiempo, de ser capaz de utilizar el servicio de navegación con una precisión e integridad especificadas.

La definición de la arquitectura del sistema tiene un efecto importante en la disponibilidad y cobertura del servicio. Por un lado, la selección de la constelación de satélites a utilizar es un factor fundamental. Por otro lado la distribución de centros y su interrelación.

La no disponibilidad del servicio puede tener dos orígenes: el fallo en una componente del sistema o la no disponibilidad de algún enlace entre componentes.

La reducción de estos factores se realiza en el diseño del sistema, utilizando técnicas de ingeniería de sistemas, tales como redundancias, supervisión, mantenimiento preventivo, etc.

## **2.5.2 EVOLUCIÓN DEL GNSS**

Una vez definidos los parámetros básicos de un sistema de navegación, veremos el plan de desarrollo del GNSS. La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) ha identificado dos etapas en el proceso de desarrollo del GNSS: GNSS-1 y GNSS-2.

- **GNSS-1:** abarca las constelaciones básicas del GPS y del GLONASS, complementadas con otros servicios de aumentación de cobertura continental (como el EGNOS y el WAAS) que proporcionen las prestaciones necesarias para aumentar la integridad, precisión, continuidad y disponibilidad de la señal, y que consigan por tanto, unos niveles de calidad de servicio adecuados y necesarios para su uso en navegación.
- **GNSS-1** contempla cuatro iniciativas de aumentación continental que están en período de desarrollo [Figura 36] e implantación actualmente y que veremos más adelante. Dos de estos sistemas, EGNOS y WAAS los trabajaremos más en profundidad debido a su importancia.

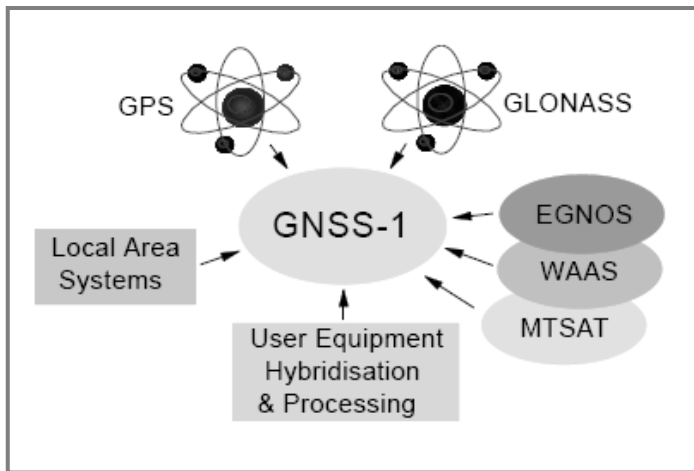


Figura 36. Desarrollo GNSS-1

- **GNSS-2** dará lugar a un futuro sistema de navegación por satélite bajo control civil internacional que permitirá el pleno uso de los satélites como medio de navegación multimodal, es decir, que preste servicio a usuarios de todo tipo, aeronáutico, terrestre y marítimo, topografía, servicios de seguridad y emergencia, o simplemente, el ocio.

Además de todas las posibles mejoras ofrecidas a la navegación actual por el GNSS, también se pretende abarcar el presente y futuro mercado emergente de la navegación y el posicionamiento [Figura 37] como se explica en [59].

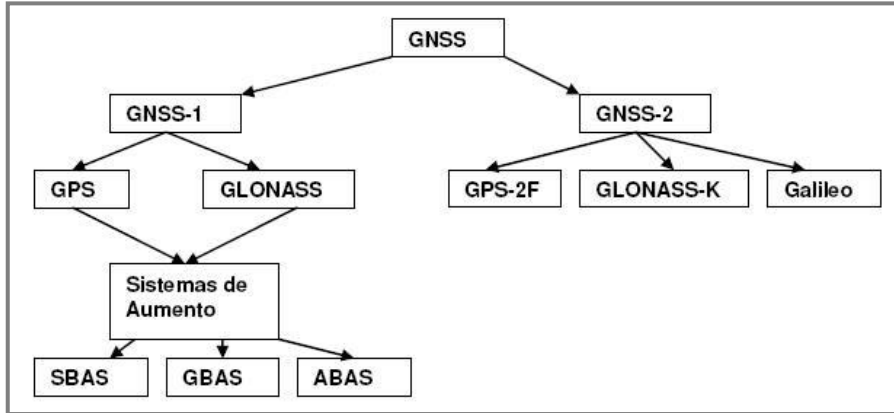


Figura 37. Estructura del GNSS

### 2.5.3 SISTEMAS DE AUMENTACIÓN

La necesidad de desarrollar estos sistemas ha surgido porque si bien el posicionamiento global con los sistemas antes descritos, es suficiente en algunas aplicaciones utilizando el método autónomo, en otras aplicaciones es necesario mejorar la precisión, por lo que es necesario aplicar unos métodos específicos de posicionamiento como puede ser el diferencial, mediante transmisiones de correcciones diferenciales para obtener posicionamiento en tiempo real.

Esta mejora de precisión se consigue principalmente utilizando estaciones de referencia las cuales recopilan información de posición, geográfica y condiciones atmosféricas del lugar para ser luego procesadas en las estaciones maestras donde son elaborados modelos matemáticos que permiten obtener las correcciones de los errores.

Las causas de error más importantes en las medidas de la posición son los retardos de la señal en la ionosfera y troposfera, los errores de efemérides, y los errores de tiempo. Los errores dejan de relacionarse con los errores obtenidos en las estaciones de referencia conforme las distancias entre los usuarios y las estaciones de referencia se incrementen. Si las separaciones de distancia son suficientemente pequeñas aquellos errores GPS son iguales y podrán cancelarse.

Para aplicaciones en tiempo real, las correcciones de los parámetros de cada satélite deberán ser transmitidas a los usuarios a través de cualquier sistema de comunicación que tenga suficiente capacidad para transmitirlos como, equipos de radio VHF, RDS o DAB, telefonía móvil, o si se requiere una amplia cobertura, a través de satélites geoestacionarios que emitan sobre la zona de influencia.

El objetivo del GNSS es conseguir mejorar las prestaciones que ofrecen los sistemas actuales de posicionamiento global, para que cumplan los estrictos requisitos necesarios para que puedan utilizarse como un sistema de navegación fiable para todos los usos.

Esta mejora de prestaciones se consigue a través de las denominadas aumentaciones, que consisten en una serie de satélites geoestacionarios e instalaciones en tierra, que emitiendo correcciones diferenciales e información sobre la calidad de la señal al receptor, se consiguen cubrir los requisitos necesarios para asegurar que el sistema de navegación tenga la fiabilidad suficiente para la aplicación correspondiente.

Estos parámetros son la precisión (error producido por el sistema), la integridad (capacidad del sistema de posicionamiento para enviar alarmas al usuario cuando el sistema no pueda ser usado), la disponibilidad (probabilidad de que el servicio está disponible cuando se le requiera) y la continuidad (capacidad del sistema para funcionar sin interrupciones durante la operación prevista una vez comenzada).

---

### **2.5.3.1 CLASIFICACIÓN**

---

Dado que estos sistemas de aumentación están en fase de implantación y en un continuo desarrollo, la clasificación y nomenclatura de los mismos puede y sufre variaciones con respecto al área o aplicación que se hacen de dichos sistemas. A continuación realizamos una breve descripción de los mismos atendiendo a diferentes tipos de clasificación.

En función del área afectada podremos distinguir:

- Sistemas mundiales de aumentación: WWDGPS (OMNISTAR, RACAL).

- Sistemas de aumentación de Área Extensa: WADGPS (EGNOS, WAAS, MSAS, CWAAS).
- Sistemas locales de aumentación: LADGPS (LAAS).
- Sistemas regionales de aumentación DGPS: RASANT.

En el sector de navegación aérea nos encontramos con la siguiente clasificación:

- Sistemas de aumentación basados en satélites [Figura 38]: SBAS (EGNOS, WAAS, MSAS, CWAS)
- Sistemas de aumentación basados en tierra: GBAS (LAAS)
- Sistemas de aumentación basados en aeronave: ABAS (RAIM y FDE)

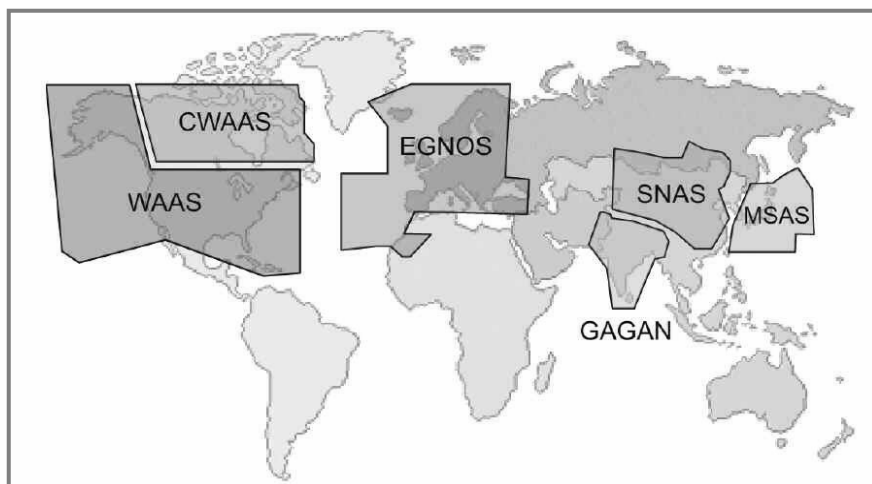


Figura 38. Sistemas de aumentación basados en satélites

Como hemos comentado anteriormente y dada su importancia vamos a tratar más en profundidad los sistemas EGNOS y WAAS.

#### 2.5.3.1.1 EGNOS

---

Será el futuro sistema de navegación europeo. EGNOS transmitirá informaciones en tiempo real, sobre la frecuencia L1 de GPS, vinculando las constelaciones GPS y GLONASS mediante una señal de integridad.



Adicionalmente, se va a introducir una señal similar a la del GPS (telemetría) y una señal de correcciones diferenciales.

La cobertura de EGNOS abarcará el área de ECAC (Conferencia Europea de Aviación Civil), pero también podrá extenderse a otras regiones que se encuentren bajo la cobertura de los satélites geostacionarios Inmarsat-3 AOR-E, Inmarsat-3 IOR y Artemis. Se mejorará significativamente la precisión del GPS, típicamente desde unos 20 a 3 metros y además ofrecerá una garantía del servicio mediante la señal de integridad.

Debido a la amplitud de la cobertura de los satélites geostacionarios que emitirán la señal del EGNOS [Figura 39], este sistema tiene potencial para extenderse a otras partes del mundo como la región de América Latina, parte de África y de Asia, mediante el despliegue de estaciones específicas y la reutilización de algunos elementos centrales del núcleo europeo.

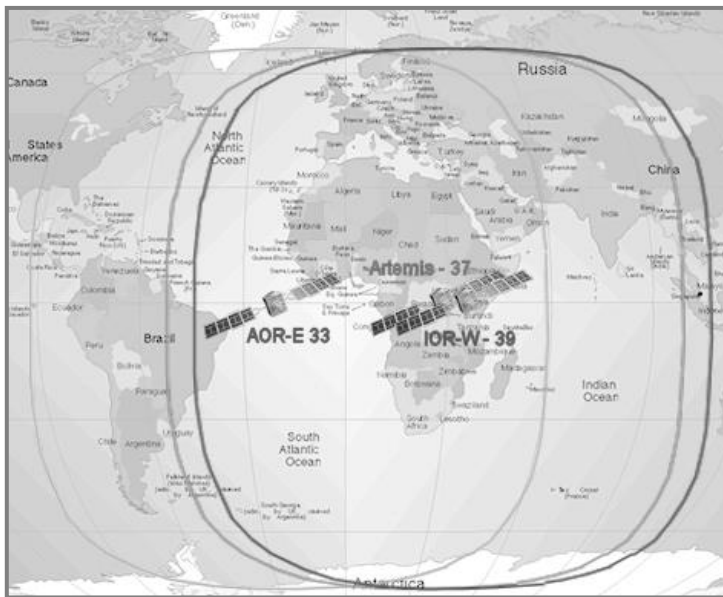


Figura 39. Cobertura de los satélites EGNOS

En cuanto a su arquitectura [Figura 40], EGNOS queda estructurado en dos segmentos, el espacial y el terrestre.

- El *segmento espacial* está constituido por los satélites geostacionarios que generan la aumentación a GPS/GLONASS. Para la

primera fase (EGNOS-AOC), se utilizan tres satélites: Un Inmarsat-3 AOR-E, situado en la región este del Océano Atlántico a 15,5º W., un Inmarsat-3 IOR, situado sobre el Océano Índico a 65.5º E. y un Artemis a 15º E. Para la segunda fase (EGNOS-FOC) serán instalados otros satélites geostacionarios, de los cuales formarán parte los 3 GEO que formarán parte de la constelación Galileo.

• El *segmento terrestre*, será detallado en profundidad pues es aquí donde se realiza la monitorización y supervisión de la integridad del sistema. Este Segmento estará compuesto por los siguientes elementos:

- Estaciones Supervisoras de Integridad y Telemetría: RIMS.
- Estaciones Centrales Maestras de Control: MCC.
- Estaciones Terrestres de Navegación: NLES.
- Instalaciones de pruebas y simulación: TSF.
- Red de comunicaciones: EWAN.

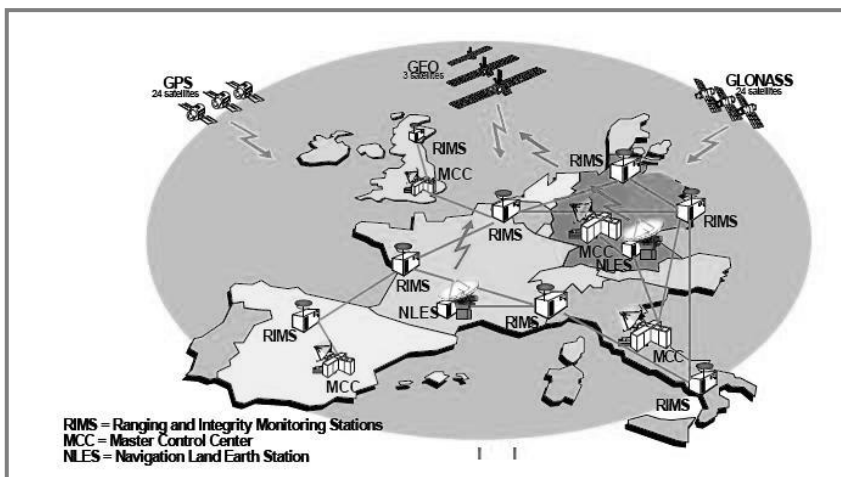


Figura 40. Arquitectura de EGNOS

#### 2.5.3.1.2 WAAS

Hoy por hoy, Estados Unidos lleva la delantera en el desarrollo de los sistemas de navegación por satélite. Actualmente, se están implantando

dos sistemas que se complementan: El WAAS (de área extensa) y el LAAS (de área local).

El WAAS es la versión norteamericana del EGNOS, o mejor expresado, al contrario, pues el WAAS se encuentra en una fase de implantación mucho más avanzada y empezó a estar operacional en septiembre del 2000, evidentemente, se pretende que sea interoperativo con el sistema europeo.

Su arquitectura y funcionamiento es similar al EGNOS. No obstante remarcar que de igual manera que el EGNOS, el WAAS también tiene su prototipo o banco de pruebas, que en este caso se llama NSTB (*National Satellite Test Bed*).

## 2.6 GSM/GPRS

Hoy en día el número de usuarios de telefonía móvil y de usuarios de Internet ha crecido de una manera increíble. Debido a esto era inevitable que en algún momento ambos mundos se fusionasen.

GSM (*Global System for Mobile Communications*) es el sistema digital de comunicaciones que más se usa hoy en día para transmitir voz y datos en donde se digitaliza y comprime la información y realiza la transmisión asignándole a cada llamada una ranura de tiempo, lo que permite que múltiples llamadas compartan un mismo canal simultáneamente sin interferir con las demás. Este sistema opera en las bandas 900MHZ y 1800MHZ en Europa, África y Asia y en las bandas 850MHZ y 1900MHZ en Estados Unidos. La banda 850MHZ también se utiliza para GSM y 3GSM en Canadá, Australia y en varios países de Latinoamérica.

Dos de las grandes ventajas del GSM es que permite la transmisión de datos a velocidades de hasta de 9.6 kbps facilitando el servicio de mensajes cortos (SMS). Otra de sus grandes ventajas es el roaming internacional, que permite el uso de un celular en cualquier país del mundo donde exista la tecnología GSM.

Por otra parte el Instituto de Telecomunicaciones Standars Europeo (ETSI) desarrollo la tecnología GPRS (General Packet Radio Service) una comunicación basada en paquetes de datos, en donde se puede enviar información (datos) a través de la red GSM, de forma rápida y atractiva. GPRS está diseñado para hacer uso de internet en el celular y sus servicios derivados como escribir y recibir mails, transferencias de ficheros por FTP y llamadas VOIP de una manera veloz y eficiente.

Esta tecnología se encuentra en teléfonos de gama media-alta y por lo general todas las operadoras brindan este servicio de comunicación.

### **2.6.1 GSM: LA BASE DEL GPRS.**

El sistema GSM es el sistema de comunicación de móviles digital de 2ª generación basado en células de radio. Apareció para dar respuestas a los problemas de los sistemas analógicos.

Fue diseñado para la transmisión de voz por lo que se basa en la conmutación de circuitos, aspecto del que se diferencia del sistema GPRS. Al realizar la transmisión mediante conmutación de circuitos los recursos quedan ocupados durante toda la comunicación y la tarificación es por tiempo. Estas limitaciones hacen ineficiente la transmisión de datos con GSM y GPRS lo soluciona.

### **2.6.2 ARQUITECTURA DE UNA RED GSM**

Todas las redes GSM se pueden dividir en cuatro partes fundamentales y bien diferenciadas:

#### **2.6.2.1 LA ESTACIÓN MÓVIL (MS)**

---

Consta a su vez de dos elementos básicos que debemos conocer, por un lado el terminal o equipo móvil y por otro lado el SIM (Subscriber Identity Module). Con respecto a los terminales poco tenemos que decir ya que los hay para todos los gustos, lo que si tenemos que comentar es que la diferencia entre unos y otros radica fundamentalmente en la potencia que tienen que va desde los 20 vatios (generalmente instalados en vehículos) hasta los 2 vatios de nuestros terminales.

El SIM es una pequeña tarjeta inteligente que sirve para identificar las características de nuestro terminal. Esta tarjeta se inserta en el interior del móvil y permite al usuario acceder a todos los servicios que haya disponibles por su operador, sin la tarjeta SIM el terminal no nos sirve de nada porque no podemos hacer uso de la red. El SIM está protegido por un número de cuatro dígitos que recibe el nombre de PIN (Personal Identification Number).

La mayor ventaja de las tarjetas SIM es que proporcionan movilidad al usuario ya que puede cambiar de terminal y llevarse consigo el SIM aunque

todos sabemos que esto en la práctica en muchas ocasiones no resulta tan sencillo. Una vez que se introduce el PIN en el terminal, el terminal va a ponerse a buscar redes GSM que estén disponibles y va a tratar de validarse en ellas, una vez que la red (generalmente la que tenemos contratada) ha validado nuestro terminal el teléfono queda registrado en la célula que lo ha validado.

### 2.6.2.2 LA ESTACIÓN BASE (BSS)

---

Sirve para conectar a las estaciones móviles con los NSS, además de ser los encargados de la transmisión y recepción. Como los MS también constan de dos elementos diferenciados: La *Base Transceiver Station* (BTS) o *Base Station* y la *Base Station Controller* (BSC). La BTS consta de *transceivers* y antenas usadas en cada célula de la red y que suelen estar situadas en el centro de la célula, generalmente su potencia de transmisión determinan el tamaño de la célula.

Los BSC se utilizan como controladores de los BTS y tienen como funciones principales las de estar al cargo de los *handovers*, los *frequency hopping* y los controles de las frecuencias de radio de los BTS.

### 2.6.2.3 EL SUBSISTEMA DE CONMUTACIÓN Y RED (NSS)

---

Este sistema se encarga de administrar las comunicaciones que se realizan entre los diferentes usuarios de la red. Para poder hacer este trabajo la NSS se divide en siete sistemas diferentes, cada uno con una misión dentro de la red.

- *Mobile Services Switching Center* (MSC): Es el componente central del NSS y se encarga de realizar las labores de conmutación dentro de la red, así como de proporcionar conexión con otras redes.
- *Gateway Mobile Services Switching Center* (GMSC): Un *gateway* es un dispositivo traductor, puede ser software o hardware que se encarga de interconectar dos redes haciendo que los protocolos de comunicaciones que existen en ambas redes se entiendan. La misión del GMSC es esta misma, servir de mediador entre las redes de telefonía fijas y la red GSM

- *Home Location Register (HLR)*: El HLR es una base de datos que contiene información sobre los usuarios conectados a un determinado MSC. Entre la información que almacena el HLR tenemos fundamentalmente la localización del usuario y los servicios a los que tiene acceso. El HLR funciona en unión con el VLR que vemos a continuación.
- *Visitor Location Register (VLR)*: Contiene toda la información sobre un usuario necesaria para que dicho usuario acceda a los servicios de red. Forma parte del HLR con quien comparte funcionalidad.
- *Authentication Center (AuC)*: Proporciona los parámetros necesarios para la autenticación de usuarios dentro de la red; también se encarga de soportar funciones de encriptación.
- *Equipment Identity Register (EIR)*: También se utiliza para proporcionar seguridad en las redes GSM pero a nivel de equipos válidos. La EIR contiene una base de datos con todos los terminales que son válidos para ser usados en la red. Esta base de datos contiene los *International Mobile Equipment Identity* o IMEI de cada terminal, de manera que si un determinado móvil trata de hacer uso de la red y su IMEI no se encuentra localizado en la base de datos del EIR no puede hacer uso de la red.
- *GSM Interworking Unit (GIWU)*: Sirve como interfaz de comunicación entre diferentes redes para comunicación de datos.

#### **2.6.2.4 LOS SUBSISTEMAS DE SOPORTE Y OPERACIÓN (OSS):**

---

Los OSS se conectan a diferentes NSS y BSC para controlar y monitorizar toda la red GSM. La tendencia actual en estos sistemas es que, dado que el número de BSS se está incrementando se pretende delegar funciones que actualmente se encarga de hacerlas el subsistema OSS en los BTS de modo que se reduzcan los costes de mantenimiento del sistema [Figura 41].

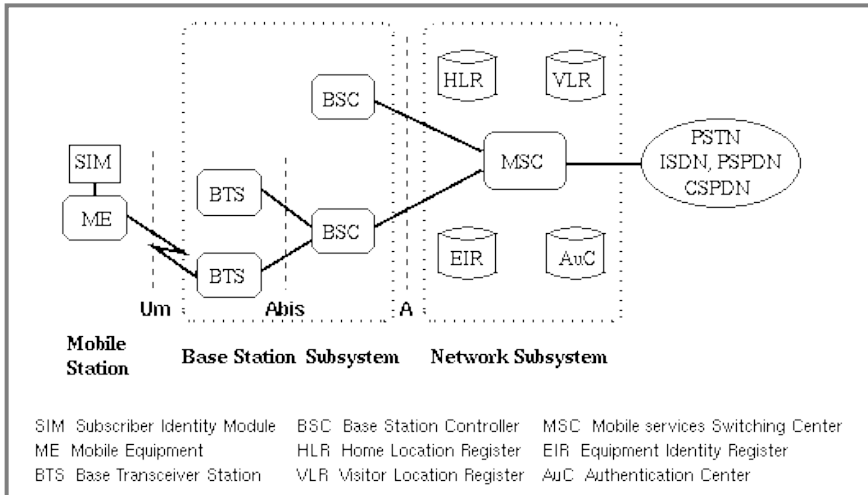


Figura 41. Esquema de subsistemas de comunicación

### 2.6.3 LIMITACIONES DE GSM PARA LA TRANSMISIÓN DE DATOS.

Las redes GSM tienen ciertas limitaciones para la transmisión de datos:

- Velocidad de transferencia de 9,6 Kbps.
- Tiempo de establecimiento de conexión, de 15 a 30 segundos. Además las aplicaciones deben ser reinicializadas en cada sesión.
- Pago por tiempo de conexión.
- Problemas para mantener la conectividad en itinerancia (Roaming).

La baja velocidad de transferencia limita la cantidad de servicios que Internet nos ofrece. Por ejemplo, a 9,6 Kbps no se puede navegar por Internet de una manera satisfactoria. Si, además, tenemos en cuenta que estamos pagando por tiempo de conexión, los costos se disparan. Esta es la eterna lucha, pues no se puede comparar una hora de conversación con una hora de navegar por Internet. La combinación de estos tres factores negativos hace que GSM sea una tecnología mayoritariamente utilizada para la voz y no para los datos.



Las tradicionales redes GSM no se adaptan adecuadamente a las necesidades de transmisión de datos con terminales móviles. Por ello surge una nueva tecnología portadora denominada GPRS (General Packet Radio Service) que unifica el mundo IP con el mundo de la telefonía móvil, creándose toda una red paralela a la red GSM y orientada exclusivamente a la transmisión de datos.

Al sistema GPRS se le conoce también como GSM-IP ya que usa la tecnología IP (Internet Protocol) para acceder directamente a los proveedores de contenidos de Internet.

#### **2.6.4 ¿QUÉ ES GPRS?**

GPRS es una nueva tecnología que comparte el rango de frecuencias de la red GSM utilizando una transmisión de datos por medio de 'paquetes'. La conmutación de paquetes es un procedimiento más adecuado para transmitir datos, hasta ahora los datos se habían transmitido mediante conmutación de circuitos, procedimiento más adecuado para la transmisión de voz.

##### **2.6.4.1 LOS CANALES SE COMPARTEN ENTRE LOS DIFERENTES USUARIOS.**

En GSM, cuando se realiza una llamada se asigna un canal de comunicación al usuario, que permanecerá asignado aunque no se envíen datos. En GPRS los canales de comunicación se comparten entre los distintos usuarios dinámicamente, de modo que un usuario sólo tiene asignado un canal cuando se está realmente transmitiendo datos. Para utilizar GPRS se precisa un teléfono que soporte esta tecnología. La mayoría de estos terminales soportarán también GSM, por lo que podrá realizar sus llamadas de voz utilizando la red GSM de modo habitual y sus llamadas de datos (conexión a internet, WAP,...) tanto con GSM como con GPRS.

La tecnología GPRS, representa un paso más hacia los sistemas inalámbricos de Tercera Generación o UMTS. Su principal baza radica en la posibilidad de disponer de un terminal permanentemente conectado, tarifando únicamente por el volumen de datos transferidos (enviados y recibidos) y

no por el tiempo de conexión como hemos podido observar en un punto anterior.

#### **2.6.4.2 OBTIENE MAYOR VELOCIDAD Y MEJOR EFICIENCIA DE LA RED.**

Tradicionalmente la transmisión de datos inalámbrica se ha venido realizando utilizando un canal dedicado GSM a una velocidad máxima de 9.6 Kbps. Con el GPRS no sólo la velocidad de transmisión de datos se ve aumentada hasta un mínimo 40 Kbps y un máximo de 115 Kbps por comunicación, sino que además la tecnología utilizada permite compartir cada canal por varios usuarios, mejorando así la eficiencia en la utilización de los recursos de red.

La tecnología GPRS permite proporcionar servicios de transmisión de datos de una forma más eficiente a como se venía haciendo hasta el momento.

GPRS es una evolución no traumática de la actual red GSM: No conlleva grandes inversiones y reutiliza parte de las infraestructuras actuales de GSM. Por este motivo, GPRS tendrá, desde sus inicios, la misma cobertura que la actual red GSM. GPRS es una tecnología que subsana las deficiencias de GSM.

#### **2.6.5 ¿POR QUÉ ES MEJOR GPRS QUE GSM?**

Como hemos visto anteriormente el sistema GSM no se adaptaba del todo bien a la transmisión de datos. Vamos a ver ahora las características de GPRS:

- Velocidad de transferencia de hasta 144 Kbps.
- Conexión permanente. Tiempo de establecimiento de conexión inferior al segundo.
- Pago por cantidad de información transmitida, no por tiempo de conexión. Veamos unos ejemplos de los tamaños de información que descargaríamos:

- Envío de un e-mail de 5 líneas de texto con un anexo (documento tipo de Word de 4 páginas), consumiría alrededor de 95 Kbyte.
- Acceder a un buscador, buscar un término (ej. viajes) y recibir una pantalla de respuesta podría ocupar 100 Kbyte aproximadamente.
- Recibir una hoja de cálculo (documento tipo Excel de 5 hojas), consumiría aproximadamente 250 Kbyte.
- Bajarse una presentación (documento tipo PowerPoint de 20 diapositivas y con fotos) equivale a unos 1.000 Kbyte.

Como vemos estas características se amoldan mucho mejor para la transmisión de datos que el tradicional sistema GSM.

### **2.6.6 SERVICIOS DEL GPRS PARA EL USUARIO.**

Los servicios que obtendrá un usuario de este sistema serían los equivalentes a tener un PC conectado a Internet, siendo éste de tamaño bolsillo. Podemos encontrar muchos y muy variados en [60] y [61].

- Acceder en movilidad a Internet y correo electrónico. GPRS permite acceder en movilidad a todas las facilidades de Internet usando el terminal GPRS como módem:
  - Acceso a cuentas de correo Internet (lectura y envío de e-mails).
  - Aviso de recepción de correo en el móvil.
  - Navegación por Internet.
  - Descarga de ficheros.
  - Desde cualquier PC, asistente personal digital (PDA), *smart phones* o directamente desde el terminal GPRS (si sus características lo permiten).

Pagando sólo por el volumen de datos transmitidos y recibidos y no por el tiempo de conexión.

- Acceder en movilidad a la Intranet corporativa.
- Acceso a cuentas de correo corporativas (intranet):
  - GPRS permite utilizar desde un dispositivo móvil (Ordenador portátil, PDA o el propio móvil) los sistemas de correo electrónico de la empresa (Microsoft Mail, Outlook Express, Microsoft Exchange, Lotus Notes etc...).
  - El usuario puede acceder en movilidad a su correo corporativo, leerlo y contestarlo como si estuviera en la oficina.
- Acceso a bases de datos y aplicaciones corporativas desde un dispositivo móvil:
  - Gestión de Fuerza de Ventas: consulta de estados de pedidos, consulta de catálogos, consulta de stocks, información relativa a los clientes... desde cualquier lugar.
  - Gestión de equipos de trabajo que operan fuera de la empresa (equipos de mantenimiento, supervisión, reparto...). Con GPRS se pueden enviar avisos, cumplimentar partes de trabajo, obtener información detallada sobre envíos o reparaciones.....desde cualquier lugar.
- Acceso GPRS a aplicaciones WAP para uso empresariales (a través del servicio WAP):
  - Agenda, directorios, tarjetas de visita, E-mail, correo, Tareas, Tablón, enviar fax, gestión de equipos.
- Acceso a servicios de información (a través del servicio WAP) :
  - Canales temáticos: Noticias, Finanzas, Viajes....
  - Guía Conecta: Guía de carreteras, Reserva de restaurantes, Guía de teléfono, Callejero...
  - Centro comercial: Banca móvil, Entradas....
  - Internet/ Servicios: Buscador, Traductor....

### 2.6.7 VENTAJAS DEL GPRS PARA LA OPERADORA.

Uso eficiente de los recursos de la red: Los usuarios sólo ocupan los recursos de la red en el momento en que están transmitiendo o recibiendo datos, y además se pueden compartir los canales de comunicación entre distintos usuarios y no dedicados como en el modelo GSM.

### 2.6.8 ¿CÓMO SE ACCEDE A GPRS?

Los terminales GPRS presentan las siguientes características comunes [4]:

- **Capacidad Dual:** Los terminales GPRS están adaptados para aprovechar la cobertura existente GSM para la voz y en GPRS para la transmisión de datos.
- **Velocidad de transferencia:** Los terminales GPRS utilizan varios canales simultáneos o slots. El número de canales depende de cada terminal, variando de 1 a 4 para la recepción de datos y de 1 a 2 para el envío. Cada canal representa una velocidad teórica de 13.4 kilobits (en GSM sólo 9 Kbyte).
- **Tarjeta SIM:** La tarjeta SIM es la misma que para GSM. No es preciso cambiar de tarjeta para usar GPRS.

Existen tres tipos de terminales, cada uno con sus características:

#### 2.6.8.1 CLASE A

- Uso simultaneo de GSM y GPRS
- Un *Time Slot* para GSM y uno o más para GPRS
- No hay degradación de ninguno de los servicios.

#### 2.6.8.2 CLASE B

- Registro GPRS y GSM.
- Uno de los dos está en suspenso mientras el otro está activo. Prioridad para GSM.

- Degradación solo para GSM.

### **2.6.8.3 CLASE C**

---

- Elección manual de GSM o GPRS.
- No hay uso simultáneo.

## 2.7 SISTEMAS RFID

RFID (*Radio Frequency IDentification*) identificación por radiofrecuencia [62], es un sistema de almacenamiento y recuperación de datos remotos que usa dispositivos denominados etiquetas, tarjetas, transpondedores o *tags* RFID. El propósito fundamental de la tecnología RFID es transmitir la identidad de un objeto (similar a un número de serie único) mediante ondas de radio. Las tecnologías RFID se agrupan dentro de las denominadas Auto ID (automatic identification) identificación automática.

Las etiquetas RFID son unos dispositivos pequeños, similares a una pegatina, que pueden ser adheridas o incorporadas a un producto, un animal o una persona. Contienen antenas para permitirles recibir y responder a peticiones por radiofrecuencia desde un emisor-receptor RFID. Las etiquetas pasivas no necesitan alimentación eléctrica interna, mientras que las activas sí lo requieren. Una de las ventajas del uso de radiofrecuencia (en lugar, por ejemplo, de infrarrojos) es que no se requiere visión directa entre emisor y receptor.

### 2.7.1 FUNCIONAMIENTO

El modo de funcionamiento de los sistemas RFID es simple. La etiqueta RFID, que contiene los datos de identificación del objeto al que se encuentra adherido, genera una señal de radiofrecuencia con dichos datos. Esta señal puede ser captada por un lector RFID, el cual se encarga de leer la información y pasarla en formato digital a la aplicación específica que utiliza RFID.

Un sistema RFID consta de los siguientes tres componentes [63]:

- Etiqueta RFID o transpondedor: Compuesta por una antena, un transductor radio y un material encapsulado o chip. El propósito de la antena es permitirle al chip, el cual contiene la información, transmitir la información de identificación de la etiqueta. Existen varios tipos de etiquetas. El chip posee una memoria interna con una capacidad que depende del modelo y varía de una decena a millares de bytes. Existen varios tipos de memoria:

- Solo lectura: El código de identificación que contiene es único y es personalizado durante la fabricación de la etiqueta.
- De lectura y escritura: La información de identificación puede ser modificada por el lector.
- Anticolisión: Se trata de etiquetas especiales que permiten que un lector identifique varias al mismo tiempo (habitualmente las etiquetas deben entrar una a una en la zona de cobertura del lector).
- Lector de RFID o transceptor: Compuesto por una antena, un transceptor y un decodificador. El lector envía periódicamente señales para ver si hay alguna etiqueta en sus inmediaciones. Cuando capta una señal de una etiqueta (la cual contiene la información de identificación de esta), extrae la información y se la pasa al subsistema de procesamiento de datos.
- Subsistema de procesamiento de datos: Proporciona los medios de proceso y almacenamiento de datos.



## 2.8 WI-FI

Wi-Fi es un mecanismo de conexión de dispositivos electrónicos de forma inalámbrica. Los dispositivos habilitados con Wi-Fi, pueden conectarse a Internet a través de un punto de acceso de red inalámbrica. Dicho punto de acceso (o hotspot) tiene un alcance de unos 20 metros en interiores y al aire libre una distancia mayor. Pueden cubrir grandes áreas gracias a la superposición de múltiples puntos de acceso .

Wi-Fi es una marca de la Wi-Fi Alliance [59] (anteriormente la WECA: Wireless Ethernet Compatibility Alliance), la organización comercial que adopta, prueba y certifica que los equipos cumplen los estándares 802.11 relacionados a redes inalámbricas de área local. Estos estándares (802.11), definen el uso de los dos niveles inferiores de la arquitectura OSI [65] (*open system interconnection*) capas física y de enlace de datos, especificando sus normas de funcionamiento en una WLAN. Los protocolos de la rama 802.x definen la tecnología de redes de área local y redes de área metropolitana.

La arquitectura OSI, es el modelo de red descriptivo creado por la Organización Internacional para la Estandarización en el año 1984. Es decir, es un marco de referencia para la definición de arquitecturas de interconexión de sistemas de comunicaciones.

### 2.8.1 COMUNICACIÓN

La tecnología Wi-Fi funciona por ondas de radio, de la misma manera que muchos de los dispositivos que utilizamos en nuestro día a día (teléfono móvil, mando del garaje, TV, radio...). Cada uno de estos dispositivos utiliza una banda de frecuencia diferente dentro del espectro de radio.

Wi-Fi actúa y opera en dos en las bandas 2,4 GHz o 5 GHz. Estas bandas son libres, por lo tanto se puede operar sin licencia sobre ellas. Por otra parte, debido a que estas bandas son libres, se hace mucho más importante que los fabricantes puedan asegurar la interoperabilidad establecida por las certificaciones Wi-Fi. Este proceso es fundamental, ya que estas pruebas nos van a asegurar que los productos Wi-Fi no interfieren con otro tipo de productos que puedan actuar en la misma banda.

## 2.8.2 ESTÁNDARES

Existen diversos tipos de Wi-Fi, basado cada uno de ellos en un estándar IEEE 802.11 [61] aprobado. Son los siguientes:

- Los estándares IEEE 802.11b, IEEE 802.11g e IEEE 802.11n disfrutaron de una aceptación internacional debido a que la banda de 2.4 GHz está disponible casi universalmente, con una velocidad de hasta 11 Mbps, 54 Mbps y 300 Mbps, respectivamente.
- En la actualidad ya se maneja también el estándar IEEE 802.11a, conocido como WIFI 5, que opera en la banda de 5 GHz y que disfruta de una operatividad con canales relativamente limpios. La banda de 5 GHz ha sido recientemente habilitada y, además, no existen otras tecnologías (Bluetooth, microondas, *ZigBee*) que la estén utilizando, por lo tanto existen muy pocas interferencias. Su alcance es algo menor que el de los estándares que trabajan a 2.4 GHz (aproximadamente un 10%), debido a que la frecuencia es mayor (a mayor frecuencia, menor alcance).
- Existe un primer borrador del estándar IEEE 802.11n que trabaja a 2.4 GHz y a una velocidad de 108 Mbps Sin embargo, el estándar 802.11g es capaz de alcanzar ya transferencias a 108 Mbps, gracias a diversas técnicas de aceleramiento. Actualmente existen ciertos dispositivos que permiten utilizar esta tecnología, denominados Pre-N.

Existen otras tecnologías inalámbricas como Bluetooth que también funcionan a una frecuencia de 2.4 GHz, por lo que puede presentar interferencias con Wi-Fi. Debido a esto, en la versión 1.2 del estándar Bluetooth por ejemplo se actualizó su especificación para que no existieran interferencias con la utilización simultánea de ambas tecnologías.

Tecnología Wi-Fi	Banda de frecuencia	Velocidad de datos máxima
<b>802.11a</b>	5 GHz	54 Mbps
<b>802.11b</b>	2,4 GHz	11 Mbps
<b>802.11g</b>	2,4 GHz	54 Mbps
<b>802.11n</b>	2,4 GHz, 5 GHz 2,4 GHz o 5 GHz (seleccionable) 2,4 GHz y 5 GHz (concurrente)	450 Mbps

Tabla 4. Comparación de estándares

### 2.8.3 WPS (WI-FI POSITION SYSTEM)

El mecanismo de posicionamiento basado en redes inalámbricas Wi-Fi o redes Wireless se basa en las mediciones que los puntos de acceso de la red hacen de la potencia y de la relación SNR (signal to noise ratio), relación señal/ruido, de las emisiones transmitidas por los dispositivos inalámbricos que se conectan a la red. La relación SNR es el margen que hay entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia del ruido que la corrompe medida en decibelios. Una red Wireless utiliza frecuencias libres y no necesita licencia.

La tecnología Wi-Fi utiliza un equipamiento sencillo:

- Tarjetas Wi-Fi en los clientes, conectadas a antenas externas mediante un cable de bajas pérdidas y no siempre estarán en el mismo grado de inclinación con respecto a la superficie terrestre.

- Una estación base o punto de acceso (AP) que da servicio a los clientes, gestionando los paquetes lanzados por otras estaciones inalámbricas y haciéndolos llegar a su destino.

Como todo sistema presenta unas ventajas:

- Requiere poca infraestructura y la red se configura de forma rápida y sencilla, y con capacidad de ampliación.
- La localización se puede hacer en el propio dispositivo móvil y, además, se puede enviar al entorno de forma sencilla empleando la red Wireless.
- La banda de trabajo de Wi-Fi (2,4GHz) es una banda libre. Este hecho presenta una serie de ventajas como el bajo coste y la rápida implantación y adopción de la tecnología.

Y unas desventajas:

- Sólo pueden ser localizados elementos con capacidad de conexión Wireless.
- La existencia de elementos fijos (paredes, vigas...), móviles (mesas, ordenadores) y personas distorsiona la potencia recibida. Se produce mayor atenuación que en un espacio abierto y se ocasiona el fenómeno multirayecto, por el que las interferencias de una señal y sus ecos distorsionan la relación distancia-potencia.

### **2.8.3.1 MODELOS DE SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN WPS**

---

La localización mediante redes Wireless puede llevarse a cabo de diferentes maneras, y podemos clasificarlos en dos grandes grupos [67]:

- Aquellos en los que se hace uso de conocimiento a priori, apoyándose en el uso de técnicas de minería de datos, a los que se denominan empíricos.
- Y por otro lado, aquellos que se basan únicamente en modelos de propagación de radiofrecuencia, con procesado de señal, a los que se denominan de propagación.

### 2.8.3.1.1 MODELOS EMPÍRICOS

---

Los modelos empíricos son aquellos en los que el sistema de posicionamiento a construir se basa en la recolección de información del entorno a priori. Dicha información debe ser clasificada y almacenada en base de datos, siguiendo modelos de *minería de datos*.

A partir de dicha información se puede obtener la posición de futuros elementos en la red, con distintas técnicas:

- distancia mínima,
- k-vecinos más próximos,
- redes neuronales

Los pasos a seguir en estos sistemas son:

- Conocimiento del entorno. Se debe definir el entorno en el que se quiere implementar el sistema, por ejemplo, definiendo el mapa de la localización en el que se va a mover y los puntos de acceso que existen en la red existente, así como las posibles zonas o puntos que se quieran definir en el sistema.
- Calibración del entorno. En este punto se debe recolectar la información de la red en la que se están moviendo los terminales. Por ejemplo, tomando medidas de la señal y almacenándolas en una base de datos correctamente clasificadas. Para poder calibrar el sistema se debe conocer bien el estándar 802.11, para saber los datos de los que se puede hacer uso.
- Posicionamiento de nuevos elementos. Será el último paso, en el cual cuando se introduzca un elemento nuevo en la red, se posicionará basándose en la información que se conoce del sistema.

Este modelo de sistemas de posicionamiento requiere un gran esfuerzo a priori para modelar y obtener la información del sistema en el que se va a mover; así como un buen mantenimiento de los datos que calibran el sistema, debido a que las redes inalámbricas de interior son redes muy variables, en las que las señales fluctúan mucho debido a la

presencia de objetos, personas, introducción de nuevos sistemas inalámbricos, etc.

#### 2.8.3.1.2 MODELOS DE PROPAGACIÓN

---

Los modelos de propagación, como bien se puede intuir por su nombre, se basan en los sistemas de radioenlaces y las técnicas de multitrayecto de la señal de radiofrecuencia.

La posición se obtiene usando como referencia los puntos de acceso más cercanos. Uno de los métodos más usados en este caso, es el de triangulación.

Este modelo suele ser muy preciso, pero muy lento en el cálculo y la obtención de información del medio, a veces innecesaria para el cálculo en el modelo elegido.

#### **2.8.3.2 PRINCIPALES MÉTODOS PARA EL CÁLCULO WPS**

---

Vamos a hacer un repaso de los principales métodos para el cálculo de posicionamiento basado en Wi-Fi.

##### 2.8.3.2.1 VECTOR DE POTENCIAS

---

Este método se usa en aquellos modelos de sistemas empíricos, usando la técnica de distancia mínima [Figura 42].

Para usar este método en primer lugar es necesario conocer los puntos de acceso que se disponen y su información. Para entrenar el sistema se almacena en una base de datos las señales obtenidas desde los distintos puntos de acceso por el usuario en distintos puntos; para poder estimar la posición del usuario posteriormente buscando los niveles de señal más cercanas al vector de señales que se obtengan en esos momentos, comparando los vectores de potencia con una medida de distancias, por ejemplo, la distancia euclídea.

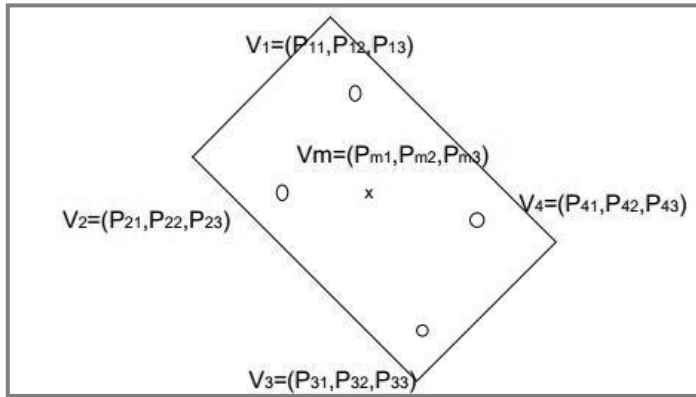


Figura 42. Ejemplo de cálculo del método vector de potencia

### 2.8.3.2.2 TRIANGULACIÓN

Es el proceso mediante el que se determina la ubicación de un punto mediante la medición de los ángulos a puntos conocidos, en lugar de medir las distancias al punto directamente [68]. El punto a medir puede fijarse con el tercer punto de un triángulo con 2 ángulos conocidos y un lado.

La triangulación consiste en averiguar el ángulo de cada una de las tres señales respecto al punto de medición. Conocidos los tres ángulos se determina fácilmente la propia posición relativa respecto a los tres puntos de referencia. Conociendo además las coordenadas o posición de cada uno de ellos por la señal que emiten, se obtiene la posición absoluta o las coordenadas reales del punto de medición.

### 2.8.3.2.3 TRIANGULACIÓN DE POTENCIA

Triangulación es un término originariamente usado en los círculos de la navegación por tomar múltiples puntos de referencia para localizar una posición desconocida.

La triangulación se basa en las siguientes fases [Figura 43]:

- Con las potencias de tres puntos de acceso que llegan al cliente se crea un sistema de ecuaciones, que representa tres círculos

- Se resuelve el sistema de ecuaciones para obtener un conjunto de puntos, llamados puntos de triangulación
- Cada punto de triangulación se considera el vértice de un triángulo
- Se forman todos los triángulos posibles y se calculan sus áreas para compararlas
- El centro del triángulo con el área más pequeña se toma como estimación de la ubicación del cliente

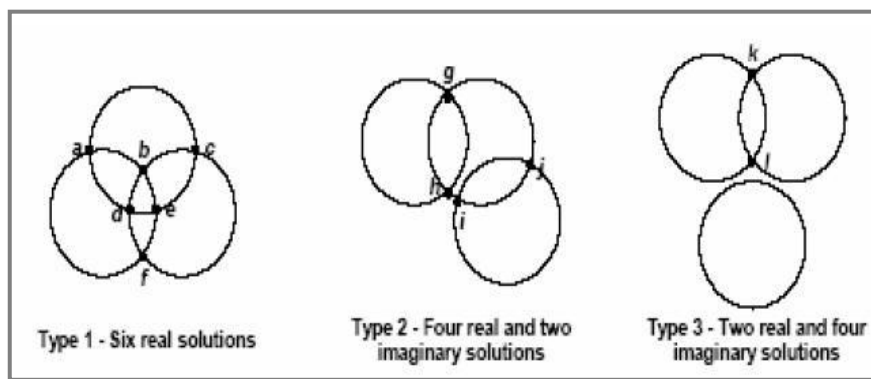


Figura 43. Puntos de triangulación resultado de un sistema de ecuaciones

#### 2.8.3.2.4 HEURÍSTICA

---

Es una capacidad de mejora e innovación en los sistemas, los métodos heurísticos se pueden utilizar por si solos o como mejora de los métodos principales, descartando posiciones de la base de datos para reducir las posibles localizaciones.

Encontramos varios ejemplos característicos de este método. A continuación presentamos algunos de ellos, donde comentamos su casuística y presentamos sus principales características.

##### 2.8.3.2.4.1 HEURÍSTICA DE PROXIMIDAD

---

Método que se basa en el punto de acceso más cercano al terminal para determinar su posición. Según la potencia que nos llega al cliente de cada punto de acceso, se descartan los valores mínimos y se dice que la mayor



potencia corresponde al del punto de acceso más cercano al dispositivo. Por lo tanto, se asume que el cliente está en la posición de dicho punto de acceso.

#### 2.8.3.2.4.2 MÉTODO DE LOS VECINOS MÁS PRÓXIMOS

---

El método de los k-vecinos más cercanos forma parte de una familia de técnicas de aprendizaje conocida como aprendizaje basado en ejemplos (*Instance-Based Learning*) [68]. El aprendizaje en estos algoritmos consiste simplemente en memorizar los ejemplos de entrenamiento presentados.

Cuando una nueva posición se le presenta al sistema de aprendizaje, un conjunto de ejemplos similares se recupera de la memoria para clasificar la nueva posición. Por lo tanto, podemos conocer una ubicación aproximada del usuario. En inconveniente de esta técnica es que requiere un gran número de puntos de calibración para poder hacer las comparaciones.

#### 2.8.3.2.4.3 HEURÍSTICA DE MOVIMIENTO

---

El movimiento es una parte importante del contexto de un usuario en un sistema de localización. Es posible clasificar a un usuario como parado o en movimiento basándonos en la fuerza de la señal Wi-Fi. Hay que tener en cuenta que la fuerza de señal de los puntos de acceso hace más picos alrededor de la posición estimada cuando el dispositivo está en el movimiento que cuando está parado.

También hay que entrenar al dispositivo tanto en movimiento alrededor de una zona como parado en un punto de interés.

#### 2.8.3.2.4.4 TEORÍA DE BAYES

---

Técnica probabilística que mantiene una distribución de probabilidad sobre todas las posibles ubicaciones del entorno. Las técnicas probabilísticas consiguen una precisión superior que las técnicas deterministas a cambio de un mayor coste computacional.

La aproximación Bayesiana [69] se suele aplicar en los casos en los que la representación del entorno es en forma de rejillas. Otra alternativa para

modelar el entorno es mediante un mapa topológico. En este caso la localización se basa en el hecho de que el dispositivo identifica automáticamente que ha alcanzado un nodo del mapa en base a alguna información geométrica del entorno.

#### 2.8.3.2.4.5 REDES NEURONALES

---

Esta tecnología puede construir sistemas capaces de aprender, de adaptarse a condiciones variantes, o incluso si se dispone de una colección suficiente de datos, predecir el estado futuro de algunos modelos. El entrenamiento en este caso se utiliza para agilizar el aprendizaje. Se hace memorizar características de los puntos de interés al dispositivo y así reconoce el área de localización en tiempo real.

### 2.8.3.3 APLICACIONES EXISTENTES

---

En la actualidad existen multitud de aplicaciones que podemos emplear para calcular el WPS, ya sean aplicaciones de casas comerciales como aplicaciones libres de código abierto que podemos emplear para modificar y adaptar a nuestras necesidades.

Vamos a comentar alguna de ellas, destacando sus principales características.

#### 2.8.3.3.1 RADAR

---

RADAR es uno de los proyectos pioneros en el diseño de sistemas de posicionamiento/localización en redes inalámbricas en interiores [70].

El proyecto RADAR, modela su sistema haciendo una mezcla de los 2 modelos presentados anteriormente, el empírico y los modelos de propagación; haciendo uso en estos últimos tanto del nivel de señal recibida como de la relación señal a ruido existente.

En primer lugar recogerá datos de la señal y su relación señal a ruido, creando un mapa de señal de las zonas, para posteriormente poder validar/caracterizar el modelo de propagación a utilizar para estimar la posición. El modelo de propagación utilizado es el de la ecuación del Factor

de Atenuación de Muros, WAF, para calcular las distancias a partir de las pérdidas del trayecto.

#### 2.8.3.3.2 AMULET

---

Amulet (Approximate Mobile User Location Tracking System), es un sistema de posicionamiento en entorno Linux para interiores desarrollado en la Universidad de Rochester basado en la infraestructura de IEEE 802.11 WLAN.

Usa un modelo mixto muy similar al proyecto RADAR, realiza un 'radio-map' almacenando muestras de la señal en una base de datos, para posteriormente buscar el más cercano mediante el algoritmo del k-vecinos más próximos. Obtiene una precisión peor a la de RADAR de en torno a 3-5 m de media, debido a la debilidad del algoritmo de k-vecinos más próximos, ya que no tiene en cuenta ningún algoritmo de seguimiento.

Principales características:

- Sistema mixto, modelo de propagación y empírico.
- Dispone de una fase de entrenamiento en la que construye un *radio mapa* con las señales Wi-Fi existentes y las almacena en una base de datos. Y una fase posterior de cálculo de localización mediante el algoritmo de los k-vecinos más próximos.
- Precisión: 3-5 metros en media.

#### 2.8.3.3.3 EKAHAU POSITIONING ENGINE

---

Ekahau [66] es una herramienta de posicionamiento en redes inalámbricas 802.11, es un sistema mixto entre el modelo empírico y el de propagación. Es el único software del mercado de sistemas de localización en tiempo real sobre multitud de plataformas, desktop, portátiles, PDA... Funciona tanto en interiores como en exteriores, únicamente se necesita cobertura en una red local inalámbrica (WLAN).

Sus principales características son:

- Es compatible tanto con dispositivos de Ekahau, pasivos, etiquetas o Tags T201 como con dispositivos activos, ordenadores, PDA's...
- Localiza varios dispositivos simultáneamente sobre un mismo mapa de situación.
- La información que proporciona de cada dispositivo son, coordenadas (x,y), edificio, piso, habitación y zona.
- Funciona sobre cualquier 802.11.
- Cada usuario debe instalarse el software cliente y calibrar los mapas de área para poder comenzar a usar el sistema.
- Su precisión es de hasta 1 metro.

Ekahau trabaja en dos fases, una de entrenamiento y otra de cálculo de posicionamiento.

En la fase de entrenamiento los dispositivos cliente, miden las señales y envían dicha información a los dispositivos manager, para que creen el vector de potencias. Para posteriormente realizar el cálculo de la posición.

#### 2.8.3.3.4 PLACELAB

---

Placelab es un software para aplicaciones de posicionamiento tanto en interiores como en exteriores [72]. Fue desarrollado por investigadores de la Universidad de Washington, de California en Berkeley y por Intel en Octubre 2004. Esta desarrollado en J2ME.

Sus principales características son:

- El cálculo de posicionamiento se realiza desde el lado del cliente, por lo que no necesita estar en constante contacto con el servidor central.
- Los dispositivos se posicionan basándose en el monitoreo pasivo del entorno.

- Permite localización mediante, Wi-Fi, GSM y dispositivos Bluetooth y GPS. Por ello, se puede tanto localizar dispositivos en ambientes de interior como de exterior.
- Su precisión media teórica es de entre 15 y 20 metros. Su cobertura y exactitud dependen del número y el tipo de puntos de acceso que haya alrededor del dispositivo del cliente.

El funcionamiento del sistema PlaceLab está basado en los modelos empíricos. Primero se añade una base de datos con las coordenadas de los puntos de acceso conocidos y su dirección MAC, para así quedar reconocidos y poder identificar los demás puntos de acceso vistos por el cliente como desconocidos.

PlaceLab no tiene fase de entrenamiento, se realiza la fase de reconocimiento y de estimación de localización en los propios dispositivos. Se realiza la estimación basándose en métodos heurísticos, dichos métodos pueden ser elegidos en el sistema.

## 2.9 BLUETOOTH

Bluetooth es una especificación industrial para Redes WPAN (Wireless Personal Area Network), o redes inalámbricas de área personal, que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM (Industrial, Scientific and Medical) para usos industriales, científicos y médicos; de los 2,4 GHz

Los puntos fuertes que nos presenta esta tecnología son:

- Facilita las comunicaciones entre equipos móviles y fijos.
- Elimina cables y conectores entre éstos.
- Ofrece la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilita la sincronización de datos entre equipos personales.

Los dispositivos que con mayor frecuencia utilizan esta tecnología pertenecen a sectores de las telecomunicaciones y la informática personal, como PDA, teléfonos móviles, ordenadores portátiles, ordenadores personales, impresoras o cámaras digitales, entre otros.

### 2.9.1 ORIGEN DEL NOMBRE

A modo de curiosidad o informativo comentaremos que el nombre de esta tecnología fue tomado de un rey danés llamado Harald Blatand cuya traducción al inglés sería Harold Bluetooth, la traducción textual al español sería *diente azul*, aunque en danés se empleaba este término para indicar que era de *tez oscura*. Este rey fue famoso por sus habilidades comunicativas ya que logro la unificación de las tribus noruegas, suecas y danesas.

### 2.9.2 COMUNICACIÓN

El estándar Bluetooth se basa en el modo de operación maestro/esclavo. El término *piconet* [Figura 44] se utiliza para hacer referencia a la red formada

por un dispositivo y todos los dispositivos que se encuentran dentro de su rango.

Pueden coexistir hasta 10 *piconets* dentro de una sola área de cobertura. Un dispositivo maestro se puede conectar simultáneamente con hasta 7 dispositivos esclavos activos (255 cuando se encuentran en modo en espera). Los dispositivos en una *piconet* poseen una dirección lógica de 3 bits, para un máximo de 8 dispositivos. Los dispositivos que se encuentran en el modo en espera, se sincronizan, pero no tienen su propia dirección física en la *piconet*.

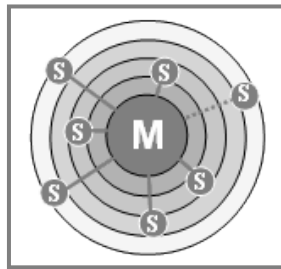


Figura 44. Comunicación Bluetooth. *Piconet*

En realidad, en un momento determinado, el dispositivo maestro sólo puede conectarse con un solo esclavo al mismo tiempo. Por lo tanto, rápidamente cambia de esclavos para que parezca que se está conectando simultáneamente con todos los dispositivos esclavos.

Bluetooth permite que dos *piconets* puedan conectarse entre sí para formar una red más amplia, denominada *scatternet* [Figura 45], al utilizar ciertos dispositivos que actúan como puente entre las dos *piconets*.

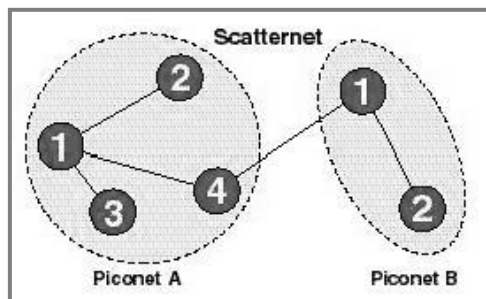


Figura 45. Comunicación Bluetooth. *Scatternet*

El establecimiento de una conexión entre dos dispositivos Bluetooth sigue un procedimiento relativamente complicado para garantizar un cierto grado de seguridad, a continuación detallamos este proceso:

- Modo pasivo
- Solicitud: Búsqueda de puntos de acceso
- Paginación: Sincronización con los puntos de acceso
- Descubrimiento del servicio del punto de acceso
- Creación de un canal con el punto de acceso
- Emparejamiento mediante el PIN (seguridad)
- Utilización de la red

Durante el uso normal, un dispositivo funciona en *modo pasivo*, es decir, que está escuchando la red.

El establecimiento de una conexión comienza con una fase denominada *solicitud*, durante la cual el dispositivo maestro envía una solicitud a todos los dispositivos que encuentra dentro de su rango, denominados puntos de acceso. Todos los dispositivos que reciben la solicitud responden con su dirección.

El dispositivo maestro elige una dirección y se sincroniza con el punto de acceso mediante una técnica denominada *paginación*, que principalmente consiste en la sincronización de su reloj y frecuencia con el punto de acceso.

De esta manera se establece un enlace con el punto de acceso que le permite al dispositivo maestro ingresar a una fase de *descubrimiento* del servicio del punto de acceso, mediante un protocolo denominado SDP (*Service Discovery Protocol*), protocolo de descubrimiento de servicios.

Cuando esta fase de descubrimiento del servicio finaliza, el dispositivo maestro está preparado para crear un *canal* de comunicación con el punto



de acceso, mediante el protocolo L2CAP (*Logical Link Control and Adaptation Protocol*) protocolo de control y adaptación del enlace lógico. Este tipo de protocolos se utilizan para pasar paquetes con y sin orientación a la conexión a sus capas superiores.

Según cuáles sean las necesidades del servicio, se puede establecer un canal adicional, denominado RFCOMM (*Radio Frequency Communication*) comunicación por radio frecuencia, que funciona por el canal L2CAP, para proporcionar un puerto de serie virtual. De hecho, algunas aplicaciones se han diseñado para que puedan conectarse a un puerto estándar, independientemente del hardware utilizado. Por ejemplo, se han diseñado ciertos programas de navegación en carretera para la conexión con cualquier dispositivo GPS Bluetooth.

El punto de acceso puede incluir un mecanismo de seguridad denominado emparejamiento, que restringe el acceso sólo a los usuarios autorizados para brindarle a la *piconet* cierto grado de protección. El emparejamiento se realiza con una clave cifrada comúnmente conocida como PIN (*Personal Information Number*) número de identificación personal. Para esto, el punto de acceso le envía una solicitud de emparejamiento al dispositivo maestro. La mayoría de las veces se le solicitará al usuario que ingrese el PIN del punto de acceso. Si el PIN recibido es correcto, se lleva a cabo la conexión.

En el modo seguro, el PIN se enviará cifrado con una segunda clave para evitar poner en riesgo la señal.

Cuando el emparejamiento se activa, el dispositivo maestro puede utilizar libremente el canal de comunicación establecido.

### **2.9.3 PERFILES BLUETOOTH**

El estándar Bluetooth define un cierto número de perfiles de aplicación (denominados perfiles Bluetooth) para definir qué tipos de servicios ofrece un dispositivo Bluetooth. Por lo tanto, cada dispositivo puede admitir múltiples perfiles [Figura 46].

Los perfiles se utilizan para disminuir la posibilidad de problemas de interoperabilidad entre los diferentes productos que emplean Bluetooth.

A continuación nombraremos un listado con los diferentes perfiles. No vamos a entrar a estudiar el detalle de cada uno de ellos, pero sí que debemos tener en cuenta que tipo de perfil soporta cada tipo de aplicación.

- Perfil de distribución de audio avanzado (A2DP)
- Perfil de control remoto de audio y vídeo (AVRCP)
- Perfil básico de imagen (BIP)
- Perfil básico de impresión (BPP)
- Perfil de telefonía inalámbrica (CTP)
- Perfil de red de marcado (DUNP)
- Perfil de fax (FAX)
- Perfil de transferencia de archivos (FTP)
- Perfil de acceso genérico (GAP)
- Perfil genérico de intercambio de objetos (GOEP)
- Perfil de sustitución de cable de copia impresa (HCRP)
- Perfil manos libres (HFP)
- Perfil de dispositivo de interfaz humana (HID)
- Perfil de auricular (HSP)
- Perfil de intercomunicador (IP)
- Perfil de acceso LAN (LAP)
- Perfil de objeto push (OPP)

- Perfil de redes de área personal (PAN)
- Perfil de acceso SIM (SAP)
- Perfil de aplicación de descubrimiento de servicio (SDAP)
- Perfil de sincronización (SP): se utiliza para sincronizar el dispositivo con un administrador de información personal (abreviado PIM).
- Perfil de puerto de serie (SPP)



Figura 46. Dependencia de perfiles Bluetooth

## 2.10 ZIGBEE

*ZigBee* es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radio digital de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de WPAN (*Wireless Personal Area Network*).

Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías. De esta manera ya descubrimos unos puntos muy interesantes que nos presenta esta tecnología:

- Su bajo consumo
- Su topología de red en malla
- Su fácil integración (se pueden fabricar nodos con muy poca electrónica).

La especificación 1.0 de *ZigBee* se aprobó el 14 de diciembre de 2004 y está disponible a miembros del grupo de desarrollo de dicha especificación (*ZigBee Alliance*), si bien se puede solicitar para distintos usos, como vemos a continuación.

Se puede disponer de varios niveles de suscripción a estas especificaciones en función del uso, si va a ser comercial o no. Si el uso va a ser comercial (*adopter*), se permite la creación de productos para su comercialización, pagando una licencia por adoptar esa especificación. Si en cambio los fines de uso de la especificación no son comerciales, la misma está disponible al público. La última revisión de la especificación se aprobó en 2006.

*ZigBee* utiliza la banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) para usos industriales, científicos y médicos [Figura 47]; en concreto, 868 MHz en Europa, 915 MHz en Estados Unidos y 2,4 GHz en todo el mundo. Sin embargo, a la hora de diseñar dispositivos, las empresas optan prácticamente siempre por la banda de 2,4 GHz, por ser libre en todo el mundo. Este tipo de bandas son bandas reservadas internacionalmente para el uso no comercial de radiofrecuencia electromagnética en las áreas

de la industria, la ciencia y la medicina. Este tipo de bandas han sido popularizadas en la actualidad por su uso en comunicación del tipo WLAN y WPAN cuyos ejemplos más clásicos son Wi-Fi y Bluetooth. El uso de estas bandas de frecuencia está abierto a todo el mundo sin necesidad de ningún tipo de licencia, siempre que se respeten las regulaciones que limitan los niveles de potencia transmitida.

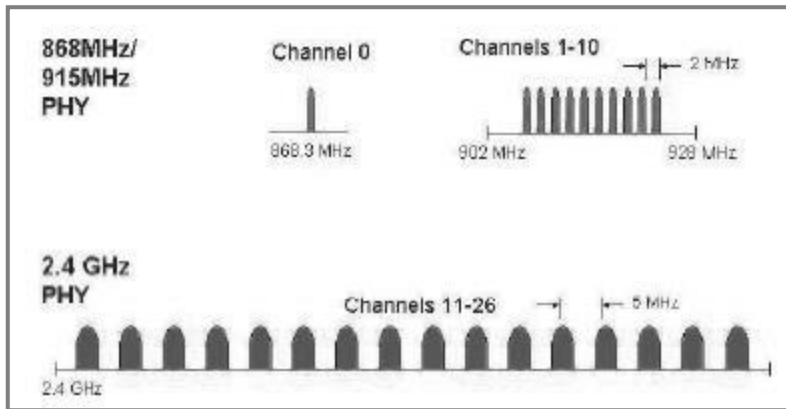


Figura 47. Bandas de actuación del ZigBee

El desarrollo de la tecnología se centra en la sencillez y el bajo coste más que otras redes inalámbricas semejantes de la familia WPAN, como por ejemplo Bluetooth. El nodo *ZigBee* más completo requiere en teoría cerca del 10% del hardware de un nodo Bluetooth o Wi-Fi típico; esta cifra baja al 2% para los nodos más sencillos. No obstante, el tamaño del código en sí es bastante mayor y se acerca al 50% del tamaño del de Bluetooth. Este dato va a ser clave en nuestro estudio, ya que buscamos y necesitamos esa sencillez y bajo coste, tan necesario en una investigación.

La primera versión de la pila suele denominarse ahora *ZigBee* 2004. La segunda versión y actual a junio de 2006 se denomina *ZigBee* 2006. *ZigBee* Alliance ha comenzado a trabajar en la versión de 2007 de la pila para adecuarse a la última versión de la especificación, en concreto centrándose en optimizar funcionalidades de nivel de red (como agregación de datos). También se incluyen algunos perfiles de aplicación nuevos, como lectura automática, automatización de edificios comerciales y automatización de hogares. Estas últimas aportaciones están suponiendo un gran avance en el

mercado de la domótica, campo donde el uso del *ZigBee* se está popularizando.

El nivel de red de *ZigBee* 2007 no es compatible con el de *ZigBee* 2004-2006, y esto podría causar problemas en la red establecida, por lo que en caso de decantarse por esta tecnología deberíamos tener claro con que especificación trabajar desde un principio.

Los protocolos *ZigBee* están definidos para su uso en aplicaciones embebidas con requerimientos muy bajos de transmisión de datos y consumo energético.

Se pretende su uso en aplicaciones de propósito general con características auto organizativas y bajo coste (redes en malla, en concreto). Puede utilizarse para realizar control industrial, albergar sensores empotrados, recolectar datos médicos, ejercer labores de detección de humo o intrusos o domótica, en general como ya hemos comentado, se puede relacionar con cualquier tipo de aplicación cuya carga de datos no sea elevada.

## **2.10.1 DISPOSITIVOS**

En función de la característica en la que nos fijemos, podemos definir diferentes clasificaciones de dispositivos.

### **2.10.1.1 PAPEL EN LA RED**

---

Se definen tres tipos distintos de dispositivo *ZigBee* según su papel en la red:

- Coordinador *ZigBee* (*ZigBee Coordinator*, ZC). El tipo de dispositivo más completo. Debe existir uno por red. Sus funciones son las de encargarse de controlar la red y los caminos que deben seguir los dispositivos para conectarse entre ellos.
- Router *ZigBee* (*ZigBee Router*, ZR). Interconecta dispositivos separados en la topología de la red, además de ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario.

- Dispositivo final (*ZigBee End Device*, ZED). Posee la funcionalidad necesaria para comunicarse con su nodo padre (el coordinador o un *router*), pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos. De esta forma, este tipo de nodo puede estar dormido la mayor parte del tiempo, aumentando la vida media de sus baterías. Un ZED tiene requerimientos mínimos de memoria y es por tanto significativamente más barato.

Como ejemplo de aplicación en domótica, en una habitación de la casa tendríamos diversos *dispositivos finales* (como un interruptor y una lámpara) y una red de interconexión realizada con *routers ZigBee* y regida por el *coordinador*.

### 2.10.1.2 FUNCIONALIDAD

---

Basándose en su funcionalidad, puede plantearse una segunda clasificación:

- Dispositivo de funcionalidad completa (FFD): También conocidos como nodo activo. Es capaz de recibir mensajes en formato 802.15.4. Gracias a la memoria adicional y a la capacidad de computar, puede funcionar como *coordinador* o *router ZigBee*, o puede ser usado en dispositivos de red que actúen de interface con los usuarios.
- Dispositivo de funcionalidad reducida (RFD): También conocido como nodo pasivo. Tiene capacidad y funcionalidad limitadas (especificada en el estándar) con el objetivo de conseguir un bajo coste y una gran simplicidad. Básicamente, son los sensores/actuadores de la red.

Un nodo *ZigBee* (tanto activo como pasivo) reduce su consumo gracias a que puede permanecer dormido la mayor parte del tiempo (incluso muchos días seguidos). Cuando se requiere su uso, el nodo *ZigBee* es capaz de despertar en un tiempo ínfimo, para volverse a dormir cuando deje de ser requerido. Un nodo cualquiera despierta en aproximadamente 15 ms.

### 2.10.2 PROTOCOLOS

Los protocolos se basan en investigaciones recientes sobre algoritmos de red para la construcción de redes *ad-hoc* de baja velocidad. La mayoría de

redes grandes están pensadas para formar un clúster de clústeres. También puede estructurarse en forma de malla o como un solo clúster. Los perfiles actuales de los protocolos soportan redes que utilizan o no facilidades de balizado.

Las redes sin balizas acceden al canal por medio de CSMA/CA (*Carrier Sense, Multiple Access, Collision Avoidance*), es decir, acceso múltiple por detección de portadora con evasión de colisiones. Este es un protocolo de control de acceso a redes de bajo nivel que permite que múltiples estaciones utilicen un mismo medio de transmisión. Cada equipo anuncia opcionalmente su intención de transmitir antes de hacerlo para evitar colisiones entre los paquetes de datos (comúnmente en redes inalámbricas, ya que estas no cuentan con un modo práctico para transmitir y recibir simultáneamente). De esta forma, el resto de equipos de la red sabrán cuando hay colisiones y en lugar de transmitir la trama en cuanto el medio está libre, se espera un tiempo aleatorio adicional corto y solamente si, tras ese corto intervalo el medio sigue libre, se procede a la transmisión reduciendo la probabilidad de colisiones en el canal.

Los *routers* suelen estar activos todo el tiempo, por lo que requieren una alimentación estable en general. Esto, a cambio, permite redes heterogéneas en las que algunos dispositivos pueden estar transmitiendo todo el tiempo, mientras que otros sólo transmiten ante la presencia de estímulos externos. El ejemplo típico es un interruptor inalámbrico: Un nodo en la lámpara puede estar recibiendo continuamente ya que está conectado a la red; por el contrario, un interruptor a pilas estaría dormido hasta que el mecanismo se activa. En una red así la lámpara sería un *router* o coordinador, y el interruptor un dispositivo final.

Si la red utiliza balizas, los *routers* las generan periódicamente para confirmar su presencia a otros nodos. Los nodos pueden desactivarse entre las recepciones de balizas reduciendo su ciclo de servicio. Sin embargo, los periodos largos con ciclos de servicio cortos necesitan de una temporización precisa, lo que puede ir en contra del principio de bajo coste.

En general, los protocolos *ZigBee* minimizan el tiempo de actividad de la radio para evitar el uso de energía. En las redes con balizas los nodos sólo



necesitan estar despiertos mientras se transmiten las balizas (además de cuando se les asigna tiempo para transmitir). Si no hay balizas, el consumo es asimétrico repartido en dispositivos permanentemente activos y otros que sólo están esporádicamente.

En función de la banda de trabajo se permite tasas de transmisión en el aire de hasta 250 Kbps, mientras que las bandas inferiores se han ampliado con la última revisión a esta tasa desde los 40 Kbps de la primera versión. Los rangos de transmisión oscilan entre los 10 y 75 metros, aunque depende bastante del entorno.

### 2.10.3 CONEXIÓN

Vamos a ver los diferentes tipos de conexiones.

#### 2.10.3.1 TOPOLOGÍAS DE RED

*ZigBee* permite tres topologías de red [Figura 48]:

- Topología en estrella: El coordinador se sitúa en el centro.
- Topología en árbol: El coordinador será la raíz del árbol.
- Topología de malla: Al menos uno de los nodos tendrá más de dos conexiones.

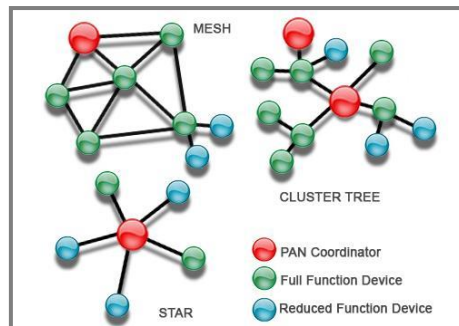


Figura 48. Topologías de red *ZigBee*

La topología más interesante es la topología de malla. Ésta permite que si, en un momento dado, un nodo del camino falla y se cae, pueda seguir la comunicación entre todos los demás nodos debido a que se rehacen todos los caminos. La gestión de los caminos es tarea del coordinador. Esta característica es uno de los puntos fuertes de este tipo de comunicación.

### **2.10.3.2 ESTRATEGIAS DE CONEXIÓN DE LOS DISPOSITIVOS EN UNA RED**

---

Las redes *ZigBee* han sido diseñadas para conservar la potencia en los nodos 'esclavos'. De esta forma se consigue el bajo consumo de potencia. La estrategia consiste en que, durante mucho tiempo, un dispositivo *esclavo* está en modo *dormido*, de tal forma que solo se *despierta* por una fracción de segundo para confirmar que está activo en la red de dispositivos de la que forma parte. Esta transición del modo *dormido* al modo *despierto* (modo en el que realmente transmite), dura unos 15ms, y la enumeración de *esclavos* dura alrededor de 30ms.

### **2.10.3.3 TIPOS DE ENTORNOS DE CONEXIÓN**

---

En las redes *ZigBee*, se pueden usar dos tipos de entornos o sistemas:

#### **2.10.3.3.1 CON BALIZAS**

---

Es un mecanismo de control del consumo de potencia en la red [Figura 49]. Permite a todos los dispositivos saber cuándo pueden transmitir. En este modelo, los dos caminos de la red tienen un distribuidor que se encarga de controlar el canal y dirigir las transmisiones. Las balizas que dan nombre a este tipo de entorno, se usan para poder sincronizar todos los dispositivos que conforman la red, identificando la red, y describiendo la estructura. Los intervalos de las balizas son asignados por el coordinador de red y pueden variar desde los 15ms hasta los 4 minutos.

Este modo es más recomendable cuando el coordinador de red trabaja con una batería. Los dispositivos que conforman la red, escuchan a dicho coordinador durante el balizamiento (envío de mensajes a todos los dispositivos, entre 0,015 y 252 segundos). Un dispositivo que quiera

intervenir, lo primero que tendrá que hacer es registrarse para el coordinador, y es entonces cuando mira si hay mensajes para él. En el caso de que no haya mensajes, este dispositivo vuelve a *dormir*, y se despierta de acuerdo a un horario que ha establecido previamente el coordinador. En cuanto el coordinador termina el *balizamiento*, vuelve a *dormirse*.

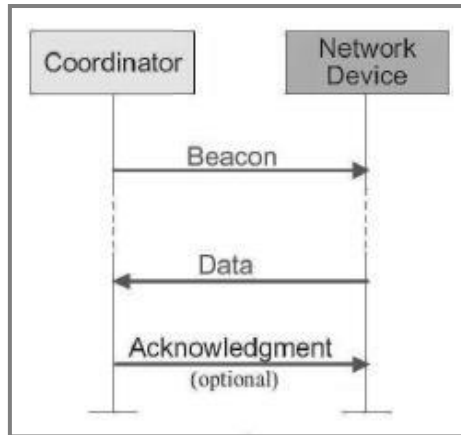


Figura 49. Comunicación ZigBee con balizas

### 2.10.3.3.2 SIN BALIZAS

Se usa el acceso múltiple al sistema *ZigBee* en una red punto a punto cercano [Figura 50]. En este tipo, cada dispositivo es autónomo, pudiendo iniciar una conversación, en la cual los otros pueden interferir. A veces, puede ocurrir que el dispositivo destino puede no oír la petición, o que el canal esté ocupado.

Este sistema se usa típicamente en los sistemas de seguridad, en los cuales sus dispositivos (sensores, detectores de movimiento o de rotura de cristales), *duermen* prácticamente todo el tiempo (el 99,999%). Para que se les tenga en cuenta, estos elementos se *despiertan* de forma regular para anunciar que siguen en la red. Cuando se produce un evento (en nuestro sistema será cuando se detecta algo), el sensor *despierta* instantáneamente y transmite la alarma correspondiente. Es en ese momento cuando el coordinador de red, recibe el mensaje enviado por el sensor, y activa la alarma correspondiente. En este caso, el coordinador de red se alimenta de la red principal durante todo el tiempo.

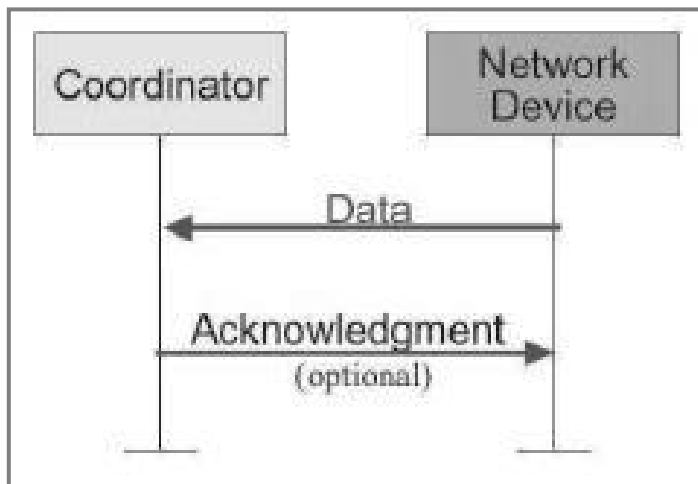


Figura 50. Comunicación *ZigBee* sin balizas

#### 2.10.4 SEGURIDAD

La seguridad de las transmisiones y de los datos son puntos clave en la tecnología *ZigBee*. *ZigBee* utiliza el modelo de seguridad que especifica 4 servicios de seguridad.

- Control de accesos: El dispositivo mantiene una lista de los dispositivos comprobados en la red.
- Datos encriptados: Los cuales usan una encriptación con un código de 128 bits.
- Integración de tramas: Protegen los datos de ser modificados por otros.
- Secuencias de refresco: Comprueban que las tramas no han sido reemplazadas por otras. El controlador de red comprueba estas tramas de refresco y su valor, para ver si son las esperadas.

##### 2.10.4.1 MODELO BÁSICO DE SEGURIDAD

Las claves son la base de la arquitectura de seguridad y, como tal, su protección es fundamental para la integridad del sistema. Las claves nunca deben transportarse utilizando un canal inseguro, si bien existe una

excepción momentánea que se da en la fase inicial de la unión de un dispositivo desconfigurado a una red. La red *ZigBee* debe tener particular cuidado, pues una red Ad hoc (red inalámbrica descentralizada) puede ser accesible físicamente a cualquier dispositivo externo y el entorno de trabajo no se puede conocer de antemano. Por lo tanto las aplicaciones que se ejecutan utilizando el mismo transceptor (realizan funciones de recepción y transmisión) deben, así mismo, confiar entre sí, ya que por motivos de coste no se asume la existencia de un cortafuegos entre las distintas entidades del nivel de aplicación.

Los distintos niveles definidos dentro de la pila de protocolos no están separados criptográficamente, por lo que se necesitan políticas de acceso, que se asumen correctas en su diseño. Este modelo de confianza abierta (open trust) posibilita la compartición de claves disminuyendo el coste de forma significativa. No obstante, el nivel que genera una trama es siempre el responsable de su seguridad. Todos los datos de las tramas del nivel de red han de estar cifradas, ya que podría haber dispositivos maliciosos, de forma que el tráfico no autorizado se previene de raíz. De nuevo, la excepción es la transmisión de la clave de red a un dispositivo nuevo, lo que dota a toda la red de un nivel de seguridad único. También se posible utilizar criptografía en enlaces punto a punto.

#### **2.10.4.2 ARQUITECTURA DE SEGURIDAD.**

*ZigBee* utiliza claves de 128 bits en sus mecanismos de seguridad. Una clave puede asociarse a una red (utilizable por los niveles de *ZigBee* y el subnivel MAC) o a un enlace. Las claves de enlace se establecen en base a una clave maestra que controla la correspondencia entre claves de enlace. Como mínimo la clave maestra inicial debe obtenerse por medios seguros (transporte o preinstalación), ya que la seguridad de toda la red depende de ella en última instancia. Los distintos servicios usarán variaciones unidireccionales de la clave de enlace para evitar riesgos de seguridad.

Por lo tanto queda claro que la distribución de claves es una de las funciones de seguridad más importantes. Una red segura encarga a un dispositivo especial la distribución de claves: El denominado centro de

confianza (trust center). En un caso ideal los dispositivos llevarán precargados de fábrica la dirección del centro de confianza y la clave maestra inicial. Si se permiten vulnerabilidades momentáneas, se puede realizar el transporte como se ha descrito. Las aplicaciones que no requieran un nivel especialmente alto de seguridad utilizarán una clave enviada por el centro de confianza a través del canal inseguro transitorio.

Por tanto, el centro de confianza controla la clave de red y la seguridad punto a punto. Un dispositivo sólo aceptará conexiones que se originen con una clave enviada por el centro de confianza, salvo en el caso de la clave maestra inicial.

### **2.10.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS**

Una vez estudiado el funcionamiento de esta tecnología vamos a hacer un pequeño resumen de las ventajas y desventajas que encontramos.

#### **2.10.5.1 VENTAJAS**

- Ideal para conexiones punto a punto y punto a multipunto
- Diseñado para el direccionamiento de información y el refrescamiento de la red.
- Opera en la banda libre de ISM 2.4 Ghz para conexiones inalámbricas.
- Óptimo para redes de baja tasa de transferencia de datos.
- Alojamiento de 16 bits a 64 bits de dirección extendida.
- Reduce tiempos de espera en el envío y recepción de paquetes.
- Baja ciclo de trabajo. Proporciona larga duración de la batería.
- Soporte para múltiples topologías de red: Estática, dinámica, estrella y malla.
- Hasta 65.000 nodos en una red.
- 128 bits de cifrado. Provee conexiones seguras entre dispositivos.
- Son más baratos y de construcción más sencilla.

### 2.10.5.2 DESVENTAJAS

- La tasa de transferencia es muy baja.
- Solo manipula textos pequeños comparados con otras tecnologías.
- *ZigBee* trabaja de manera que no puede ser compatible con Bluetooth en todos sus aspectos porque no llegan a tener las mismas tasas de transferencia, ni la misma capacidad de soporte para nodos.
- Tiene menor cobertura porque pertenece a redes inalámbricas de tipo WPAN.

### 2.10.6 APLICACIONES

Los protocolos *ZigBee* están definidos para su uso en aplicaciones embebidas con requerimientos muy bajos de transmisión de datos y consumo energético. Se pretende su uso en aplicaciones de propósito general con características auto organizativas y bajo coste. Puede utilizarse para realizar control industrial, albergar sensores empotrados, recolectar datos médicos, ejercer labores de detección de humo o intrusos o domótica.

La red en su conjunto utilizará una cantidad muy pequeña de energía de forma que cada dispositivo individual pueda tener una autonomía de hasta 5 años antes de necesitar un recambio en su sistema de alimentación. Aunque esa duración vendrá definida en función del uso y las necesidades.

Por otra parte, quizás no está demasiado extendido debido a su incompatibilidad con Bluetooth, entre otras tecnologías, y sobre todo porque es una tecnología que a nivel de usuario no se utiliza habitualmente.

## 2.11 COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS

		 Bluetooth®	 ZigBee™
<b>Bandas de frecuencias</b>	2,4 Ghz	2,4 Ghz	2,4 Ghz, 868/915 Mhz
<b>Tamaño de pila</b>	1 Mb	1 Mb	20 Kb
<b>Tasa de transferencia</b>	11 Mbps	3 Mbps	250 Kbps (2,4 Ghz) menor en las otras bandas
<b>Número de canales</b>	14	79	16 (2,4 Ghz) menor en las otras bandas
<b>Tipos de datos</b>	Digital	Digital, Audio	Digital
<b>Número de dispositivos</b>	32	8	255 / 65535
<b>Requisitos de alimentación</b>	Horas de batería	Días de batería	Años de batería
<b>Introducción al mercado</b>	Alta	Media	Baja
<b>Arquitecturas</b>	Estrella	Estrella	Estrella, Árbol, Punto a Punto y Malla
<b>Mejores Aplicaciones</b>	Edificio con Internet Adentro	Computadoras y Teléfonos	Control de Bajo Costo y Monitoreo
<b>Consumo de Potencia</b>	400ma transmitiendo, 20ma en reposo	40ma transmitiendo, 0.2ma en reposo	30ma transmitiendo, 3ma en reposo
<b>Precio</b>	Costoso	Accesible	Bajo
<b>Complejidad</b>	Complejo	Complejo	Simple

Tabla 5. Tabla comparativa de tecnologías inalámbricas



---

## **CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA**

---

*En este capítulo vamos a desarrollar la parte fundamental de esta tesis. Una vez realizados los estudios previos, pasamos a contextualizarlos en el caso de estudio que motiva el presente estudio. Analizaremos las necesidades y adoptaremos las soluciones pertinentes a los problemas presentados. Comenzaremos a desarrollar las aplicaciones necesarias y realizaremos las primeras experiencias.*



### 3.1 ESTUDIO DEL ENTORNO DE TRABAJO

Este proyecto se encuentra enmarcado en el ámbito de trabajo de la Escola d'Estiu de la Universitat Politècnica de València. Se trata de una organización encargada de ofrecer a los padres la oportunidad de completar la formación de sus hijos a través de una gran cantidad de actividades, como talleres, excursiones, juegos, y deporte. Y aunque en un primer momento se pueda pensar que las actividades de esta entidad se reducen a la época estival, nada más lejos de la realidad: Desde enero hasta diciembre, durante los doce meses del año, los responsables de la Escola d'Estiu de la UPV trabajan para ofrecer a los más pequeños una alternativa, divertida y llena de aventuras, al día a día del curso escolar.

Analizando un poco más en detalle la organización interna, podemos distinguir una serie de capas o niveles, en los que se divide el control y la supervisión de las actividades. Estas capas son las siguientes:

- **Año:** En el que se incluyen todos los grupos
- **Etapas:** Que incluye a los grupos correspondientes a dos promociones
- **Grupo:** Cada grupo consta de entre 20 y 28 niños, los cuales están controlados por 2 monitores, que se encargan de su cuidado, del registro de entrada, y de la validación de su salida por una persona autorizada. A su vez, existe un responsable para cada etapa, respaldado por un monitor ayudante, los cuales se encargan del control de los grupos incluidos en cada etapa en el caso de cualquier incidencia, así como de la organización de las actividades o de ayuda en caso de necesidad por parte de los monitores de cada grupo.

Dentro de este marco, aparece la necesidad de la Escola d'Estiu de poder gestionar el control de los niños de una manera eficaz y segura, que suponga el mínimo obstáculo posible para la realización del trabajo de los monitores. Es por ello que recordamos nuevamente los objetivos principales y secundarios de la presente investigación.

- Diseñar un sistema, de bajo coste y bajo consumo, que permita la localización de usuarios en espacios abiertos, así como la gestión de los datos relativos a este proceso.
- Realizar un estudio del arte de los sistemas y tecnologías que se han utilizado hasta el momento para desarrollar aplicaciones de este tipo.
- Identificar una arquitectura de capas que permita estructurar el sistema en conjunto, así como permitir la ampliación del mismo en caso necesario.
- Identificar el método de trabajo de los monitores de la Escola d'Estiu, y los puntos de mejora que debe ofrecer el sistema en el desarrollo de su actividad.
- Evaluar las capacidades del sistema, entendiendo por éstas, la correcta comunicación entre emisor y receptor, escalabilidad, latencia de recepción y distancia máxima de funcionamiento.
- Validar y verificar una pequeña prueba piloto en la que se demuestre que el sistema permite la localización y gestión de los datos de forma eficiente.

## 3.2 NECESIDADES DEL SISTEMA

Antes de realizar un trabajo de este tipo, es necesario realizar un estudio de los sistemas que se han desarrollado anteriormente para propósitos similares. Dentro de este estudio se evalúan los requisitos técnicos empleados, y la calidad de las funcionalidades implantadas.

El objetivo es localizar los puntos débiles o posibles mejoras que se pueden desarrollar en estos sistemas, así como informarse de las posibilidades que ofrece cada una de las soluciones estudiadas.

Este trabajo realizado durante el estudio de las tecnologías que nos podían ayudar a desarrollar el proyecto se ha llevado a cabo en el capítulo dos de la presente tesis, donde después de observar los pros y los contras de las diferentes tecnologías a emplear, hemos ido tomando decisiones acordes con las necesidades fundamentales del proyecto.

Dentro de este marco se ha llegado a la decisión de utilizar tecnología IEEE 802.14/ZigBee para la comunicación entre las pulseras y la PDA, así como permitir las funcionalidades de localización, control de listas, registro de entrada/salida y control individual.

### 3.2.1 IDENTIFICACIÓN DEL MÉTODO DE TRABAJO DE LOS MONITORES

Dentro del desarrollo de un sistema de este tipo uno de los puntos principales es el conocimiento del método de trabajo de los usuarios finales del mismo. Por ello, uno de los objetivos de esta fase del proyecto es conocer el modo de funcionamiento de la Escola d'Estiu, y comprobar los diversos puntos donde el sistema puede resultar de ayuda. La jornada de los monitores de la Escola d'Estiu se puede dividir en varios puntos:

#### 3.2.1.1 LLEGADA/SALIDA DE LOS NIÑOS

Tanto en la llegada como en la salida de los niños, uno de los monitores se encarga de comprobar en sus hojas de datos el nombre del niño, y anotar la

fecha y hora a la que llega y se va el niño, así como la persona que lo recoge tras haber comprobado que está autorizada a hacerlo.

### **3.2.1.2 REALIZACIÓN DE ACTIVIDADES**

---

Durante el transcurso de la mañana los monitores se encargan de organizar juegos para los niños, participando activamente en dichas actividades. Al mismo tiempo, deben estar pendientes de la situación de los menores, y de controlar que ninguno se distancia de la zona de juegos.

Al finalizar cada actividad los monitores se encargan de realizar el recuento de los niños, y comprobar que están todos.

### **3.2.1.3 ENTRADA A UN RECINTO O AUTOBÚS**

---

Cada vez que se realiza un cambio de localización los monitores realizan nuevamente el recuento de los niños debido al riesgo que supone el traslado, sobre todo para los más pequeños.

De este modo, el paso de lista se realiza uno a uno, especialmente en el caso del autobús o salidas al exterior del recinto universitario, donde se extreman las medidas de control sobre los menores.

## **3.2.2 EVALUACIÓN DE LAS CAPACIDADES DEL SISTEMA**

Debemos de tener claras las necesidades básicas, para poder comenzar a trabajar sobre el sistema a desarrollar.

### **3.2.2.1 CORRECTA COMUNICACIÓN ENTRE PULSERAS Y PDA**

---

El punto básico a partir del cual se puede desarrollar la solución corresponde a la validación, en primer lugar, del buen comportamiento del sistema en la comunicación entre las pulseras y la PDA, identificando si existen colisiones entre paquetes o si se pierden tramas en la recepción de la tarjeta SDIO/ZigBee.

### 3.2.2.2 EVALUACIÓN DE LA ESCALABILIDAD

El sistema a desarrollar debe permitir el funcionamiento simultáneo de tantas pulseras como niños formen el grupo.

En el caso de la Escola d'Estiu se trata de grupos de entre 20 y 30 niños. Por ello, es muy importante, que una vez comprobada la correcta comunicación entre pulseras y PDA para unas pocas pulseras, se amplíe el número de las mismas con el fin de comprobar el comportamiento del driver y la aplicación desarrollada.

### 3.2.2.3 EVALUACIÓN DE LA MÁXIMA DISTANCIA

La evaluación del rango de distancia hasta el cual la PDA es capaz de detectar las pulseras es necesaria para realizar una estimación del comportamiento del sistema en una prueba real, ya que el cuerpo de los niños, que se encuentran muy juntos, provocarán una atenuación en la señal, que reducirá esta distancia. Por lo que cuanto más sea la longitud obtenida en las pruebas, mayor será la capacidad que tenga el sistema en la prueba piloto.

## 3.2.3 DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA PILOTO

El objetivo de la prueba piloto es verificar que el sistema permite la localización de las pulseras de los niños en un escenario real, así como la gestión de los datos personales y de asistencia de los mismos, y el correcto funcionamiento, tanto de las pulseras de localización e identificación, como del adaptador IEEE 802.15.4/*ZigBee* del dispositivo móvil (PDA) desarrollados en esta fase.

La arquitectura del sistema [Figura 51] para la prueba piloto está compuesta por los siguientes módulos:

- PDA con adaptador IEEE 802.15.4/*ZigBee* que permitirá la localización de los monitores y su comunicación con la pulsera de los niños, correspondiente a la capa de Hardware y Comunicaciones.

- Pulsera de localización e identificación, correspondiente a la capa de Hardware y Comunicaciones.
- Módulo de procesamiento de los datos recibidos por las pulseras, correspondiente a la capa de Información y localización.
- Gestión de la base de datos local correspondiente a los datos personales y de asistencia de los niños, correspondiente a la capa de Información y localización.
- *Log* para comprobar el modo de uso de la aplicación, correspondiente a la capa de Herramientas de Gestión.
- Interfaz Gráfica de presentación de datos al usuario, correspondiente a la capa de Herramientas de Gestión.

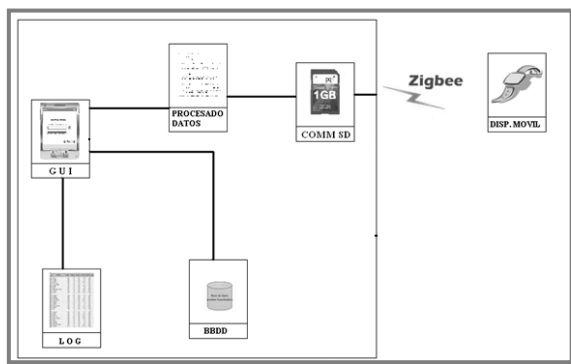


Figura 51. Arquitectura del sistema desarrollado para la prueba piloto

### 3.2.4 VALIDACIÓN DE LA PRUEBA PILOTO Y MEJORAS

Una vez realizada la prueba piloto, deberemos evaluar los resultados y proponer las mejoras necesarias que aplicaremos al sistema.

Parte de esas mejoras se ha podido implementar en el sistema y parte no, debido a la falta de financiación que ha sufrido el proyecto.

Mostraremos las mejoras que se han producido, así como los proyectos e ideas que están pendientes de seguir desarrollándose en caso de poder seguir con el desarrollo de la investigación.



### 3.3 DESCRIPCIÓN DE LA ARQUITECTURA DEL SISTEMA

La arquitectura del sistema a desarrollar se divide en tres capas [Figura 52], cuya finalidad es poder independizar los módulos de desarrollo de cada una, de modo que un cambio o mejora en una de ellas no implique la necesidad de modificar las otras. Estas capas serán detalladas a continuación, después de una breve descripción de cada una de ellas:

- **Capa Hardware y Comunicaciones:** En esta capa se encuentra los dispositivos y comunicaciones necesarias para permitir la localización e identificación de los niños y los monitores.
- **Capa Información de Localización e Identificación:** Tomando como base la estructura Hardware y de Comunicaciones de la capa anterior, se generará una información genérica de localización y de identificación de los niños y los monitores, que permitirá el desarrollo de herramientas de ayuda a la gestión de la Escola d'Estiu.
- **Capa Herramientas de Gestión:** A partir de la información generada gracias a las capas anteriores, será posible el desarrollo de herramientas de gestión para los monitores y responsables de la Escola d'Estiu, como pueden ser, localización de niños y monitores, alarmas de niños que salen de una zona determinada, identificación del niño con información relevante en cualquier lugar, y control centralizado de los grupos. Esta capa hará uso a su vez de la de Hardware y Comunicaciones para la interacción con el usuario.

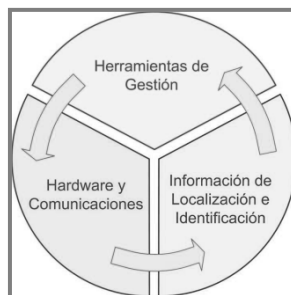


Figura 52. Esquema de la relación entre capas

### 3.3.1 CAPA DE HARDWARE Y COMUNICACIONES

La capa de Hardware y Comunicaciones se basará en los siguientes dispositivos:

- **Pulsera de localización e identificación:** Cada uno de los niños llevará una pulsera [Figura 53] basada en la tecnología IEEE 802.15.4/ZigBee que permitirá:
  - Su localización en las distintas zonas de la Escola d'Estiu.
  - Su localización mediante el dispositivo móvil de los monitores.
  - Su identificación mediante el almacenamiento de información relevante del niño, que podrá ser leída por el dispositivo móvil de los monitores.



Figura 53. Representación de la pulsera

- **Baliza de localización:** Se colocarán una o varias balizas de localización en las distintas zonas de la Escola d'Estiu conectadas mediante una conexión Ethernet al servidor de información, que posibilitarán la localización de los niños y de los monitores.
- **Dispositivo móvil:** Constará de una PDA y un adaptador IEEE 802.15.4/ZigBee que permitirá la localización de los monitores y su comunicación con la pulsera de los niños para su localización e identificación (lectura de los datos relevantes almacenados en la pulsera). Además el Dispositivo Móvil tendrá posibilidad de conexión con el Servidor de Información y resto del sistema mediante Wi-Fi y GPRS/UMTS.
- **Servidor de Información:** En él se almacenará toda la información generada por la capa de "Información de Localización e Identificación" a

partir de los datos proporcionados por la capa “Hardware y Comunicaciones”.

Durante esta fase del proyecto se desarrollarán íntegramente la pulsera de localización y el adaptador IEEE 802.15.4/ZigBee del dispositivo móvil.

### 3.3.1.1 LOCALIZACIÓN DE LAS PULSERAS Y DISPOSITIVOS MÓVILES

Uno de los objetivos de esta capa es permitir la localización de las pulseras de los niños y los dispositivos móviles de los monitores. Para ello, las áreas o zonas de localización estarán delimitadas por balizas cubriendo cada una de las áreas determinadas con al menos una de ellas [Figura 54].

Las pulseras y el dispositivo móvil enviarán a través de IEEE 802.15.4/ZigBee una señal periódica que será recogida por todas las balizas que se encuentren en el rango de cobertura. Las balizas enviarán los datos de la pulsera y el dispositivo móvil, y la potencia de la señal recibida en formato XML (*Extensible Markup Language*) al Servidor de Información dónde se determinará la localización de las pulseras mediante un algoritmo de localización basado en comparación de potencias (capa de Información de Localización e Identificación).

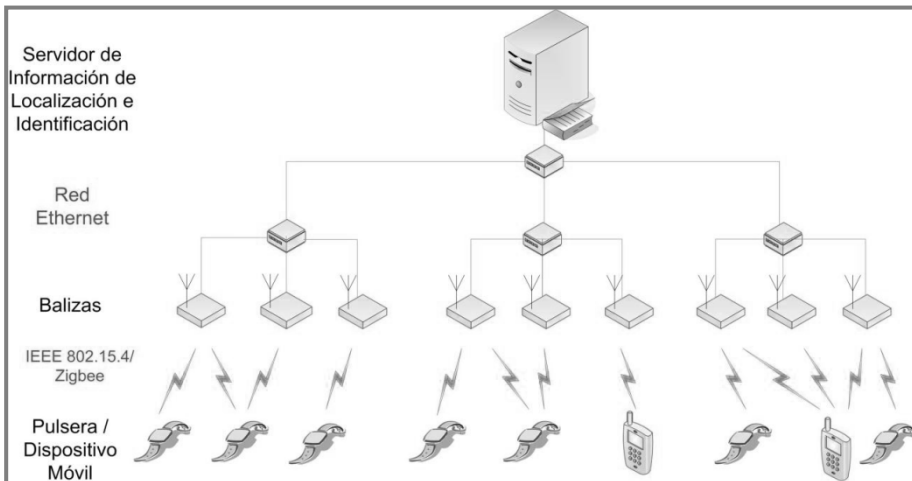


Figura 54. Plataforma de la solución planteada

### 3.3.1.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS NIÑOS

Existirá información de identificación con los datos relevantes del niño tanto en la pulsera como en el servidor de información de forma sincronizada. En el caso de la pulsera la información será accesible por la PDA a través de la comunicación IEEE 802.15.4/ZigBee.

### 3.3.2 CAPA DE INFORMACIÓN Y LOCALIZACIÓN

Esta capa está interrelacionada con la capa anterior. Proporcionará los mecanismos necesarios para el procesamiento de los datos proporcionados por el hardware para ofrecer información de localización e identificación, así como su almacenamiento. Estos mecanismos y sistemas de almacenamiento clasificados según el hardware que los contiene son:

- **Pulsera:** Incorporará un identificador unívoco para su identificación y gestión por parte de los monitores.
- **Dispositivo móvil:** Tendrá información parcial de la base de datos, así como información general de localización e identificación.
- **Servidor de Información de Localización e Identificación:** Centralizará toda la información y constará de:
  - **Algoritmo de localización:** Algoritmo basado en la comparación de potencias para la determinación de la localización de las pulseras. La localización que ofrecerá será discreta en el tiempo (en intervalos configurables del orden de segundos) y en el espacio (distinción de áreas)
  - **Base de datos:** Con la información de localización e identificación de niños y monitores.
  - **Visor del sistema:** Visor para el control del funcionamiento de la capa hardware y de comunicaciones.

**Interfaz para herramientas de gestión:** Proporcionará las interfaces necesarias para el desarrollo de las herramientas de gestión.

## 3.4 DESCRIPCIÓN FUNCIONAL

En este apartado se van a definir los tipos de usuario, así como los procedimientos de actuación durante el uso de la aplicación.

### 3.4.1 ACTORES

Las clases de actores [Figura 55]:

- **Niño:** Alumno que acude a la Escola d'Estiu, y que se encuentra matriculado en un grupo
- **Grupo:** Cada conjunto de niños que son controlados por el mismo/os monitor/es
- **Monitor:** Persona responsable del cuidado de un grupo determinado de niños
- **Responsable:** Persona encargada de controlar el comportamiento y actuación de los monitores
- **Administrador:** Persona con acceso a la configuración interna de la PDA.
- **Persona autorizada:** Familiares o amigos que han sido autorizados por los padres del niño a recoger al mismo.

El siguiente gráfico muestra una imagen descriptiva de las relaciones existentes entre las diferentes clases de usuario.



Figura 55. Relación existente entre las clases de usuario

### 3.4.2 ROLES

Los tipos de roles, usuarios que manejan el sistema son:

- **Monitor:** Usuario que tiene acceso a las funcionalidades básicas del sistema.
- **Responsable:** Usuario que tiene acceso a las funcionalidades avanzadas del sistema.
- **Administrador:** Usuario con acceso a la configuración interna del sistema.

#### 3.4.2.1 PRUEBA PILOTO

---

Durante la prueba piloto los roles Administrador y Responsable estarán fusionados, de modo que el usuario Responsable tendrá acceso a las listas de todos los grupos. De esta manera será más sencillo realizar un mayor número de experiencias con diferentes grupos de edades dentro de la Escola d'Estiu.

### 3.4.3 PROCEDIMIENTOS

A continuación vamos a enumerar los diversos procedimientos necesarios en la que intervendrá la aplicación desarrollada.

#### 3.4.3.1 AUTENTICACIÓN

---

Al inicio de la jornada cada usuario activa su PDA e introduce su DNI. Acto seguido el sistema realiza una consulta y comprueba su rol: Monitor, Responsable, Administrador, No autorizado. En función del mismo dispondrá de distintos privilegios. Aquí comienza el uso del programa y de la jornada laboral.

#### 3.4.3.2 LLEGADA

---

El procedimiento de llegada consiste en registrar el momento de la llegada del niño a la Escola d'Estiu. En ese momento se confirmará su asistencia y

se añadirá a una lista interna de trabajo en la que se almacenan los niños que han confirmado la asistencia. El monitor puede realizar este procedimiento de forma individual o grupal:

- **Individual:**
  - **Manual:** Al acceder a la lista de niños de su grupo, el monitor registra la llegada marcando una casilla situada junto al nombre de cada uno. El monitor tiene la posibilidad de marcar al niño indicando que no lleva la pulsera ese día. De este modo, el monitor permanecerá avisado de este hecho cada vez que decida pasar lista.
  - **Automático:** Al acceder a la lista de niños de su grupo, el monitor registra la llegada acercando la pulsera a la PDA.
- **Grupal:** El sistema detecta la señal procedente de las pulseras de los niños que forman parte del grupo y registra la llegada de aquellos de los cuales se recibe señal.

En caso de detección errónea, o al seleccionar al niño equivocado, se podrá cancelar el registro de llegada.

#### **3.4.3.3 SALIDA**

---

El procedimiento de salida consiste en registrar la salida de un niño tras la finalización del horario lectivo. Este procedimiento se realizará de forma individual, de dos maneras:

- **Manual individual:** Al acceder a la lista de niños de su grupo, el monitor registra la salida marcando una casilla situada junto al nombre de uno.
- **Automático individual:** Al acceder a la lista de niños de su grupo, el monitor registra la salida acercando la pulsera a la PDA.

El monitor debe verificar que la persona que recoge al niño tiene autorización por parte de los padres. Para ello se mostrará una lista de personas autorizadas, de las cuales deberá seleccionar una obligatoriamente para validar la salida del niño. En caso de detección

errónea, o al seleccionar al niño equivocado, se podrá cancelar el registro de salida.

#### 3.4.3.4 PASAR LISTA

---

Este procedimiento consiste en el control de la localización de los niños. Se podrá realizar de tres maneras:

- **Manual individual:** El monitor podrá pasar lista de forma manual observando los niños que se encuentran a su alrededor y marcándolos en la lista de asistencia proporcionada por la aplicación.
- **Automática individual:** El monitor podrá pasar lista de forma automática acercando la pulsera de los niños a la PDA. Este mecanismo puede ser útil en la entrada a un recinto o autobús, donde los niños entran de uno en uno, y es interesante poder detectarlos individualmente.
- **Grupal:** El monitor podrá forzar un paso de lista en cualquier momento, mostrándose en la pantalla el resultado de dicha acción. En el caso en que todos los niños se encuentren dentro del área de seguridad, se mostrará un mensaje de éxito, y en la parte inferior la lista con los niños del grupo, indicando de manera orientativa la distancia respecto a la baliza, según un código de colores. En el caso de que se detecte alguna ausencia se muestra en pantalla una lista con los niños que no se han detectado. El monitor puede realizar dos acciones:
  - Marcar al niño como controlado, si por ejemplo, el niño ha olvidado la pulsera en casa ese día, y el monitor lo tiene controlado con la mirada.
  - Mandar un aviso al responsable para que actúe en consecuencia. En este caso llegará también un aviso al resto de PDAs de los monitores, que comenzarán a realizar la búsqueda de ese niño, para localizar su posición.



## 3.5 FUNCIONALIDADES DEL SISTEMA

Aquí pasamos a describir todas y cada una de las funcionalidades que presenta el sistema desarrollado.

### 3.5.1 CONSULTAS

El usuario podrá realizar diferentes consultas, en función de las necesidades de la Escola. Las consultas estarán divididas en tres bloques:

- Ficha niño
- Horarios/Localizaciones
- Asistencia niño

#### 3.5.1.1 FICHA NIÑO

A la ficha del niño se podrá acceder pulsando el nombre del niño en las listas correspondientes, o acercando la PDA a la pulsera en el formulario de lista de fichas. La ficha contendrá la información personal del niño, así como los datos médicos relevantes y personas autorizadas a su recogida.

#### 3.5.1.2 HORARIOS/LOCALIZACIONES

En esta consulta se podrá acceder al calendario de actividades programadas para el grupo. Para cada actividad se mostrará el horario, la localización y la descripción de la misma. La consulta se podrá realizar de tres maneras diferentes:

- **Por día:** Se muestra el calendario de actividades para ese día.
- **Por actividad:** Se representa en un calendario los días en que se realiza esa actividad.
- **Por localización:** Se muestran las actividades realizadas en una localización específica.

### **3.5.1.3 ASISTENCIA, RECOGIDA NIÑO**

---

Esta sección, que compone el historial del niño, mostrará, para cada día, la asistencia o falta de asistencia, la hora a la que llegó, a la que se fue, y con quien se fue o si se fue solo. De esta manera está disponible la consulta y recopilación de datos de todos los niños.

### **3.5.2 GESTIÓN DE LLEGADAS / SALIDAS**

La gestión de llegadas y salidas de niños, consiste en el registro de la asistencia de los niños a la actividad. Ya se ha comentado en apartados anteriores el funcionamiento de dicho proceso.

### **3.5.3 LOCALIZACIÓN DE NIÑOS**

La localización de niños consiste en la gestión del posicionamiento de los niños, y de los avisos a responsables en caso de la ausencia de alguno de ellos.

Este bloque se puede dividir en tres módulos:

#### **3.5.3.1 PULSERAS DE LOCALIZACIÓN**

---

Las pulseras de localización de los niños emiten un código personalizado para cada niño a través de un interfaz IEEE 802.15.4/*ZigBee*.

#### **3.5.3.2 BALIZAS DE LOCALIZACIÓN**

---

Son dispositivos que delimitan el área de funcionamiento de la Escola d'Estiu, que reciben la señal de las pulseras de localización, y estiman la posición de los niños y monitores. Adicionalmente, actuarán como pasarela de comunicación con el Servidor de Información, y entre dispositivos de monitorización.

#### **3.5.3.3 DISPOSITIVO DE MONITORIZACIÓN**

---

Es el dispositivo que usan los monitores y que gestiona la información de localización recibida desde las balizas.

### **3.5.4 IDENTIFICACIÓN DE NIÑOS**

La identificación de niños consiste en la posibilidad de conocer la identidad de cualquier niño de la Escola d'Estiu. Esta funcionalidad se consigue mediante las pulseras de localización, que emiten un código personalizado para cada niño a través un interfaz IEEE 802.15.4/*ZigBee*. Este código se encuentra almacenado en el dispositivo móvil del monitor, lo que permite la lectura de sus datos personales.

### **3.5.5 AVISO A RESPONSABLE**

El apartado aviso a responsable consiste en el envío de mensajes SMS por parte de los monitores al responsable. Para ello se dispondrá de PDAs con teléfono.

### **3.5.6 GESTIÓN DE USO DEL SISTEMA (LOG)**

El sistema se encargará de crear un registro oficial de eventos ocurridos durante el uso de la aplicación. Este registro se podrá analizar a posteriori para crear un perfil de uso de la aplicación y detectar posibles puntos de mejora.

### **3.5.7 COMUNICACIONES**

Veamos los tipos utilizados.

#### **3.5.7.1 ZIGBEE**

---

Se utilizará la tecnología IEEE 802.15.4/*ZigBee* para establecer la comunicación entre la PDA y las pulseras de los niños. El objetivo de este enlace es la detección del posicionamiento de los niños, así como la obtención de los datos correspondientes, que permanecerá guardados en modo local en las pulseras de éstos.

### **3.5.7.2 WIFI**

---

Se utilizará tecnología IEEE 802.11/Wi-Fi para realizar la comunicación de las PDAs y las balizas con el Servidor de Información, así como para la comunicación entre las distintas PDAs de los monitores y de los responsables.

## **3.5.8 ALMACENAMIENTO PERSISTENTE DE DATOS**

Como se trabaja con los datos manejados.

### **3.5.8.1 BASE DE DATOS (SERVIDOR DE INFORMACIÓN)**

---

Los datos pertenecientes a los niños, así como los correspondientes al funcionamiento de la Escola permanecerán guardados en el Servidor de Información. La gestión de la aplicación se realizará mediante consultas al Servidor, lo que permitirá una correcta sincronización de la información entre las distintas PDAs.

### **3.5.8.2 BASE DE DATOS (MODO LOCAL)**

---

Los datos pertenecientes a los niños, así como los correspondientes al funcionamiento de la Escola d'Estiu permanecerán guardados, también, en modo local en las PDAs. Con ello se pretende reducir el tráfico en la red, y agilizar el uso de la aplicación. Esta base de datos se sincronizará periódicamente con la base de datos del servidor en la siguiente versión. En ambos casos las bases de datos estarán securizadas mediante contraseña para evitar accesos malintencionados a los datos.

## **3.5.9 SINCRONIZACIÓN DE LOS DATOS**

Al final del día se descargará el LOG y los datos de asistencia de ese día, para que el responsable tenga acceso a todos los datos referentes al uso de la aplicación y al historial del comportamiento de los niños y monitores

## 3.6 MODELO Y DICCIONARIO DE DATOS

En este apartado se va a detallar el sistema de bases de datos que se va a utilizar en el desarrollo de la aplicación. En la base de datos se guardarán los datos correspondientes a usuarios definidos en el apartado de Roles.

El mapa de las tablas [Figura 56] es el siguiente, y a continuación se definen las características de cada tabla.

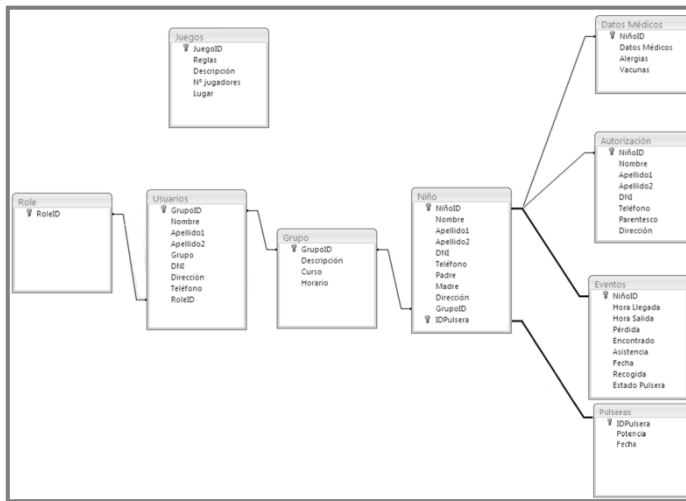


Figura 56. Mapa de tablas de la base de datos

### 3.6.1 TABLAS

A continuación vamos a describir cada una de las tablas utilizadas y las relaciones existentes.

#### 3.6.1.1 ROLE

- **Descripción:** Indica los diferentes tipos de usuarios que hacen uso del sistema, y que supone un filtro a la hora de hacer búsquedas por personal.
- **Campos:**

Nombre	Tipo	Descripción
<b>RoleID</b>	Autonumérico	Clave Principal
<b>Nombre</b>	Texto	Nombre que describe al role

Tabla 6. Tabla Role. Campos

- *Claves ajenas:* No tiene

### 3.6.1.2 USUARIOS

- *Descripción:* Contiene los datos de todos los usuarios que forman parte del personal de la Escola d'Estiu.
- *Campos:*

Nombre	Tipo	Descripción
<b>GrupID</b>	Autonumérico	Clave Principal
<b>Grupo</b>	Texto	Nombre del grupo del que es responsable
<b>Nombre</b>	Texto	Nombre de la persona
<b>Apellido1</b>	Texto	Primer apellido
<b>Apellido2</b>	Texto	Segundo apellido
<b>DNI</b>	Entero	Nº DNI
<b>Dirección</b>	Texto	Dirección de la vivienda
<b>Teléfono</b>	Entero	Teléfono del usuario

Tabla 7. Tabla Usuarios. Campos

- *Claves ajenas:*

Nombre	Tipo	Descripción
<b>RoleID</b>	Numérico	Sirve para comunicar con la tabla Role

Tabla 8. Tabla Usuarios. Clave Ajena

### 3.6.1.3 GRUPOS

- *Descripción:* Incluye a los grupos en que se encuentran divididos los niños.
- *Campos:*

Nombre	Tipo	Descripción
<b>GrupID</b>	Autonumérico	Clave principal
<b>Descripción</b>	Texto	Características más importantes del grupo
<b>Curso</b>	Texto	Nombre del grupo
<b>Horario</b>	Texto	Horario del grupo

Tabla 9. Tabla Grupos. Campos

- *Claves ajenas:*

Nombre	Tipo	Descripción
<b>GrupID</b>	Numérico	Sirve para comunicar con la tabla Usuarios

Tabla 10. Tabla Grupos. Clave Ajena

### 3.6.1.4 NIÑOS

- **Descripción:** Incluye a los niños matriculados en los grupos, así como sus datos personales.
- **Campos:**

Nombre	Tipo	Descripción
<b>NiñoID</b>	Autonumérico	Clave principal
<b>PulseraID</b>	Texto	Identificador de pulsera
<b>Name</b>	Texto	Nombre del niño
<b>Apellido1</b>	Texto	Primer apellido
<b>Apellido2</b>	Texto	Segundo apellido
<b>DNI</b>	Entero	Nº DNI
<b>Dirección</b>	Texto	Dirección de la vivienda
<b>Teléfono</b>	Entero	Teléfono del padre/madre
<b>Padre</b>	Texto	Nombre del padre
<b>Madre</b>	Texto	Nombre de la madre
<b>Grupo</b>	Texto	Nombre del grupo en el que está matriculado

Tabla 11. Tabla Niños. Campos

- **Claves ajenas:**



Nombre	Tipo	Descripción
<b>Grupoid</b>	Numérico	Sirve para comunicar con la tabla Grupos

Tabla 12. Tabla Niños. Clave Ajena

### 3.6.1.5 DATOS MÉDICOS

- *Descripción:* Describe el historial médico de cada niño
- *Campos:*

Nombre	Tipo	Descripción
<b>Medicoid</b>	Autonumérico	Clave principal
<b>Datos</b>	Texto	Datos médicos
<b>Alergias</b>	Texto	Alergias
<b>Vacunas</b>	Texto	Vacunas

Tabla 13. Tabla Datos Médicos. Campos

- *Claves ajenas:*

Nombre	Tipo	Descripción
<b>Niñoid</b>	Numérico	Sirve para comunicar con la tabla Niños

Tabla 14. Tabla Datos Médicos. Clave Ajena

### 3.6.1.6 AUTORIZADOS

- **Descripción:** Indica las personas autorizadas a recoger al niño, y sus datos personales.
- **Campos:**

Nombre	Tipo	Descripción
<b>AutorizadoID</b>	Autonumérico	Clave principal
<b>Grupo</b>	Texto	Nombre del grupo del que es responsable
<b>Name</b>	Texto	Nombre de la persona
<b>Apellido1</b>	Texto	Primer apellido
<b>Apellido2</b>	Texto	Segundo apellido
<b>DNI</b>	Entero	Nº DNI
<b>Dirección</b>	Texto	Dirección de la vivienda
<b>Teléfono</b>	Entero	Teléfono del usuario
<b>Parentesco</b>	Texto	Tipo de relación familiar con el niño

Tabla 15. Tabla Autorizados. Campos

- **Claves ajenas:**

Nombre	Tipo	Descripción
<b>NiñoID</b>	Numérico	Sirve para comunicar con la tabla Niños

Tabla 16. Tabla Autorizados. Clave Ajena

### 3.6.1.7 EVENTOS

- **Descripción:** Historial de la participación del niño en la Escola d'Estiu.
- **Campos:**

Nombre	Tipo	Descripción
<b>EventID</b>	Autonumérico	Clave principal
<b>Fecha</b>	Texto	Día
<b>Hora llegada</b>	Texto	Hora a la que se registró la llegada
<b>Hora salida</b>	Texto	Hora a la que se registró la salida
<b>Recogida</b>	Texto	Persona que recogió al niño
<b>Estado Pulsera</b>	Boolean	Pulsera activada o desactivada

Tabla 17. Tabla Eventos. Campos

- **Claves ajenas:**

Nombre	Tipo	Descripción
<b>NiñoID</b>	Numérico	Sirve para comunicar con la tabla Niños

Tabla 18. Tabla Eventos. Clave Ajena

### 3.6.1.8 ACTIVIDAD

- **Descripción:** Indica los datos correspondientes a las actividades, horario y lugar donde se realizan.
- **Campos:**

Nombre	Tipo	Descripción
<b>ActividadID</b>	Autonumérico	Clave principal
<b>Reglas</b>	Texto	Reglas del juego
<b>Descripción</b>	Texto	Descripción de la actividad
<b>Nºpersonas</b>	Texto	Nº personas para realizar la actividad
<b>Lugar</b>	Texto	Localización de la actividad

Tabla 19. Tabla Actividad. Campos

- *Claves ajenas:* No tiene

### 3.6.1.9 PULSERAS

- *Descripción:* Indica los datos correspondientes a las actividades, horario y lugar donde se realizan.
- *Campos:*

Nombre	Tipo	Descripción
<b>PulseraID</b>	Autonumérico	Clave principal
<b>Potencia</b>	Texto	Potencia con la que se recibe la señal
<b>Fecha</b>	Texto	Fecha en formato (dd/MM/yy hh:mm:ss) en que se recibe la señal

Tabla 20. Tabla Pulseras. Campos

- *Claves ajenas:* No tiene

## 3.7 MATERIALES

En este punto se describen los materiales y métodos de evaluación empleados para la realización del trabajo. La aplicación desarrollada para la comunicación entre la recepción de datos de la tarjeta SD y el usuario final ha sido desarrollada en .NET, mediante el lenguaje de programación C#, y el uso del programa Microsoft Visual Studio 2008.

### 3.7.1 SOFTWARE

A continuación realizaremos una descripción del software empleado para el desarrollo de la aplicación.

#### 3.7.1.1 MICROSOFT VISUAL STUDIO 2008

Microsoft Visual Studio es un entorno de desarrollo integrado para sistemas Windows [68].

El motivo de uso de Visual Studio se debe a las facilidades que ofrece en la programación de aplicaciones para los llamados dispositivos inteligentes (PDA en este caso), ya que el entorno de desarrollo integrado de Visual Studio .NET incluye herramientas para desarrollar aplicaciones de este tipo. Mediante .NET Compact Framework (subconjunto de .NET Framework) se pueden crear, generar, depurar e implementar aplicaciones que utilizan .NET Compact Framework para ejecutarse en PDAs.

#### 3.7.1.2 MICROSOFT .NET

Visual Studio se encuentra enmarcado en la plataforma .NET, creada por Microsoft para permitir el desarrollo de software con independencia de la plataforma de hardware. Microsoft .net permite de una manera rápida y económica, a la vez que segura y robusta, desarrollar aplicaciones permitiendo una integración más rápida y ágil, y un acceso más simple y universal a todo tipo de información desde cualquier tipo de dispositivo.

Para la programación de la aplicación se ha utilizado la plantilla de desarrollo de proyectos para dispositivos móviles, cuyo asistente muestra

los controles necesarios para desarrollar la interfaz gráfica. Estos controles disponen de asistentes que generan automáticamente el código necesario para su construcción y el lanzamiento de eventos.

Las aplicaciones se generan en formato de lenguaje intermedio de Microsoft (MSIL), que es independiente del procesador y del sistema operativo. La razón es que los dispositivos Pocket PC y los basados en Windows CE tienen normalmente diseños de pantalla distintos. Los dispositivos Pocket PC tienen los menús en la parte inferior de la pantalla, mientras que los basados en Windows CE suelen tenerlos en la parte superior. De este modo, el asistente crea una aplicación de marco que incluye el tamaño de formulario y el diseño de menús adecuados.

---

### 3.7.1.3 C#

---

Como se ha comentado anteriormente, el lenguaje utilizado para el desarrollo de la aplicación es C#, un lenguaje de programación orientado a objetos desarrollado y estandarizado por Microsoft como parte de su plataforma .NET. Aunque C# forma parte de la plataforma .NET, ésta es una interfaz de programación de aplicaciones, mientras que C# es un lenguaje de programación independiente diseñado para generar programas sobre dicha plataforma.

#### 3.7.1.3.1 COMPARATIVA JAVA VS C#

---

El motivo de realizar la aplicación en C# se debe a que, tras analizar ambos lenguajes de programación, se han valorado las ventajas que éste aporta sobre JAVA [74]:

- Posee un concepto formalizado de los métodos get y set, con lo que se consigue código mucho más legible.
- La gestión de eventos (usando delegados) es mucho más limpia.
- El rendimiento es, por lo general, mucho mejor.
- CIL (el lenguaje intermedio de .NET) está estandarizado, mientras que los bytecodes de java no lo están.

- Soporta bastantes más tipos primitivos (value types), incluyendo tipos numéricos sin signo.
- Posee indicadores que permiten acceder a cualquier objeto como si se tratase de un array.
- Las aplicaciones multi-hilo son más simples.
- Soporta la sobrecarga de operadores, que aunque pueden complicar el desarrollo son opcionales y algunas veces muy útiles.
- Permite el uso (limitado) de punteros cuando realmente se necesitan, como al acceder a librerías nativas que no se ejecuten sobre la máquina virtual.

#### **3.7.1.4 LENGUAJE SQL**

---

Para la búsqueda en la base de datos se ha hecho uso de los *table adapters*, que son consultas predefinidas en .NET creadas para este fin. Estas búsquedas se realizan mediante el lenguaje SQL (*Structured Query Language*), que es un lenguaje declarativo de acceso a bases de datos relacionales de cuarta generación (4GL). Una de sus características principales es el manejo del álgebra y el cálculo relacional permitiendo lanzar consultas con el fin de recuperar, de una forma sencilla, información de interés de la base de datos, así como también hacer cambios sobre la misma.

#### **3.7.1.5 PROGRAMA DESARROLLADO**

---

El programa desarrollado aprovecha las ventajas que ofrece Visual Studio 2008 en el acceso a datos, y utiliza una base de datos donde se encuentran la información relativa tanto a alumnos como monitores, y al funcionamiento normal de las actividades de la Escola d'Estiu, así como los identificadores de las pulseras detectadas, el valor de la potencia, y el instante de recepción.

Dicha aplicación dispone de un hilo encargado de leer los datos procedentes del *driver*, e ir almacenando dicha información en la tabla dedicada a este fin. Este hilo se encarga, además, de filtrar las pulseras en

función de si pertenecen al grupo o no, y lanzar un evento para el caso en el que la potencia recibida supere un umbral determinado.

Para ello, el hilo se encarga de comprobar si esa pulsera ya ha sido detectada, en cuyo caso actualiza el valor de la base de datos. En caso contrario, inserta el valor del identificador de pulsera, así como su potencia y la fecha exacta de la detección. Existe otro hilo encargado de realizar la búsqueda de las pulseras que no han sido detectadas durante un tiempo configurable.

Este hilo funciona de manera automática, y sólo lanza una interrupción en el caso en el que no se haya recibido el identificador de pulsera durante este tiempo. De otro modo, este hilo funciona sin que el monitor perciba ningún tipo de señal. Para el paso de lista grupal, se lanza otro hilo, que también realiza una búsqueda en el *dataset* del mismo modo que el hilo anterior. Con la diferencia de que en este caso se comprueban las pulseras que hayan sido detectadas durante un tiempo inferior al seleccionado.

#### **3.7.1.6 COMUNICACIÓN ZIGBEE**

---

La comunicación utilizada entre las pulseras y la PDA se realiza mediante el protocolo IEEE 802.15.4/*ZigBee*. El protocolo *ZigBee* para comunicación de datos de transmisión lenta es considerado generalmente como paralelo a Wi-Fi y Bluetooth.

Para esta solución se ha tomado la determinación de usar comunicación *ZigBee*, debido a que sus características se ajustan mejor a las necesidades que las de las otras tecnologías disponibles, nos remitimos al estudio realizado en el capítulo dos al respecto y mencionamos las principales ventajas del *ZigBee* sobre el resto de tecnologías estudiadas para el desarrollo de nuestra aplicación.

- El elevado número de sensores permite que se cubra toda la extensión de trabajo de la Escola d'Estiu constituyendo una única red, de forma que se facilita las labores de gestión y mantenimiento.



- Presenta una baja latencia, factor que en una aplicación en tiempo real tiene gran importancia.
- Se trata de un sistema simple que tiene una vida útil elevada debido al bajo consumo que tiene esta tecnología. En términos exactos, *ZigBee* tiene un consumo de 30 mA transmitiendo y de 3 uA en reposo, frente a los 40mA transmitiendo y 0,2 mA en reposo que tiene el Bluetooth. Este menor consumo se debe a que el sistema *ZigBee* se queda la mayor parte del tiempo dormido, mientras que en una comunicación Bluetooth esto no se puede dar, y siempre se está transmitiendo y/o recibiendo. Por ello *ZigBee* se utiliza para productos dependientes de la batería.
- El rango de cobertura cubre las necesidades de trabajo de la Escola d'Estiu. En ella se trabaja en torno a un radio de veinte metros, ya que se pretende que el sistema cubra el rango de funcionamiento que tendría un monitor con la mirada sin necesidad de estar pendiente en todo momento de la posición de los niños.
- El tráfico de información por la red va a ser reducido por lo que una baja velocidad de transmisión es suficiente.
- Además, se trata de una solución muy económica porque la radio se puede fabricar con muchos menos circuitos analógicos de los que se necesitan habitualmente.

Entre otras, *ZigBee* presenta las siguientes ventajas [75]:

- Licencia libre de operación para las frecuencias 2.4GHz. 868MHz and 915MHz.
- El protocolo *ZigBee* puede ser implementado en microcontroladores de bajo coste.
- Pequeño tamaño.

### 3.7.2 HARDWARE

A continuación se va describir el hardware empleado.

### 3.7.2.1 PULSERA DE LOCALIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN

Cada niño lleva una pulsera [Figura 57] que realiza una emisión periódica de tramas IEEE802.15.4/*ZigBee*, con un intervalo de 1.5 segundos. Dichas tramas incluyen información sobre la dirección IEEE unívoca de cada pulsera.



Figura 57. Fotografía de la carcasa de las pulseras

La emisión se realiza en la banda de 2,4 GHz, y además, se proporcionan medidas digitales de los parámetros RSSI y LQI. El RSSI es un indicador del nivel de la señal recibida. Se almacena en el registro RSSI\_VAL un valor que oscila entre -100 y +0. Existe otro indicador proporcionado para cada uno de los paquetes recibidos y que estima, en base a la tasa de errores percibida en cada paquete, la calidad del enlace.

### 3.7.2.2 TARJETA SDIO/ZIGBEE

La tarjeta SDIO/*ZigBee* que utiliza la PDA como módulo de comunicación está basada en el CC2430 de Texas Instruments, e implementa el protocolo SDIO a través de un interfaz físico SD. Dicha tarjeta [Figura 58] se encarga de la captación de tramas *ZigBee* a 2.4 GHz y la transmisión mediante el

protocolo SDIO al *host* a través de puertos de entrada/salida generales conectados al interfaz SD físico.

Por último, cabe destacar que las tramas recibidas incluyen la potencia con la que ha sido recibida dicha trama.

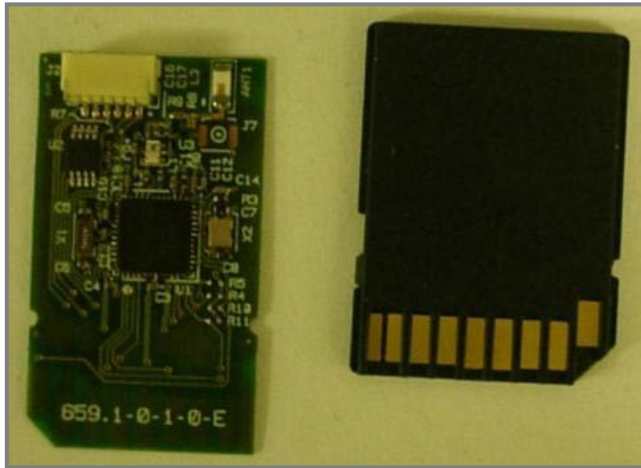


Figura 58. Fotografía de la tarjeta SDIO/ZigBee

### 3.7.2.3 DRIVER

El esquema de funcionamiento del *driver* [Figura 59] desarrollado es el siguiente:

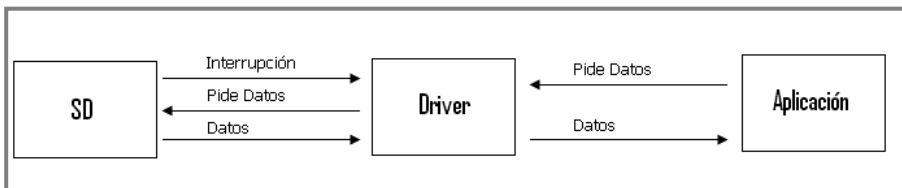


Figura 59. Esquema de funcionamiento del driver

La tarjeta SDIO lanza interrupciones cada vez que tiene datos disponibles. El *driver* se encarga de pedir estos datos a la tarjeta, que se los devuelve de modo que quedan almacenados en el buffer correspondiente. Posteriormente la aplicación se encarga de pedir datos al *driver*, quien los lee del búfer y los devuelve para que el programa realice la acción correspondiente y muestre los resultados al usuario.

### 3.7.2.4 PDAS

Para el desarrollo de la aplicación se han utilizado dos PDAs de diferentes características. Una de ellas sirvió para el desarrollo de las herramientas de gestión, y la otra para el módulo de localización e identificación.

Cabe destacar que la constante evolución de las tecnologías hace evidente que estos dispositivos actualmente (2014) se consideran obsoletos, aunque en el momento de realizar las pruebas (2009) eran dispositivos totalmente operativos y funcionales.

#### 3.7.2.4.1 HP IPAQ 214

El desarrollo de las herramientas de gestión se realizó con una PDA modelo HP Ipaq 214 [71] [Figura 60], con sistema operativo Windows Mobile 6 Classic, procesador Marvel PXA310 624 MHz y con ranura para tarjeta SDIO.

<b>Datos básicos</b>	
Sistema operativo instalado	Windows Mobile® 6 Classic
Funciones de la pantalla	Pantalla táctil TFT transreflectiva de 4,0 pulgadas, 65.000 colores, 640 x 480 píxeles con retroiluminación LED
Teclado	Opciones: Teclado plegable Bluetooth
Tecnologías inalámbricas	WLAN 802.11b/g, Bluetooth® 2.0 integrado con EDR
Cámara integrada	Sin cámara integrada
<b>Portabilidad</b>	
Funciones de la pantalla	Pantalla táctil TFT transreflectiva de 4,0 pulgadas, 65.000 colores, 640 x 480 píxeles con retroiluminación LED
<b>Rendimiento</b>	
Procesador	Procesador Marvell PXA310 a 624 MHz
Tipo de memoria	128 MB de memoria SDRAM principal para ejecutar aplicaciones, 256 MB de flash ROM
Características de alimentación	Batería: extraíble/recargable de ion de litio de 2200 mAh (cargable por el usuario)

Figura 60. Tabla de características Hp Ipaq 214

La principal ventaja que ofrece esta PDA es la elevada duración de la batería (hasta 6 horas con conexión Wi-Fi). Este aspecto es muy importante para la solución que se pretende implantar, ya que la jornada de la Escola d'Estiu

es de 7 horas. La batería de este dispositivo es de 2200 mAh, y tras la realización de diversas pruebas, se comprobó que se podía usar para el piloto planteado, ya que en esta fase no se precisa de conexión Wi-Fi, y la batería puede durar alrededor de 10 horas en ese caso.

### 3.7.2.4.2 FUJITSU-SIEMENS POCKET LOOX

El modelo de PDA con la que se realizó la prueba piloto es una Fujitsu-Siemens Pocket Loox N500 [72] [Figura 61], cuyas características se muestran a continuación.

Fujitsu Siemens Pocket LOOX N500	
<b>General</b>	
Tipo de producto:	PDA
Anchura:	7.1 cm
Profundidad:	1.4 cm
Altura:	11.6 cm
Peso:	160 g
<b>Procesador</b>	
Procesador:	Intel XScale PXA270 312 MHz
<b>Memoria</b>	
ROM:	64 MB - Flash
Memoria RAM:	64 MB
Tarjetas de memoria flash soportadas:	SD Memory Card, MultiMediaCard
Compatibilidad:	SDIO
<b>Display</b>	
Tipo de pantalla:	3.5" matriz activa TFT - transreflectivo
Imagen:	16 bits (64K colores)
Resolución de pantalla:	240 x 320
<b>Batería</b>	
Cantidad instalada (máximo soportado):	1
Tecnología / Factor de forma:	Ion de litio
Capacidad:	1200 mAh
<b>Telecom</b>	
Conectividad Inalámbrica:	IrDA
<b>Sistema gps</b>	
Navegación GPS:	Receptor GPS
Software incluido:	Navigon MobileNavigator 5
Mapas incluidos:	Península Ibérica

Figura 61. Tabla de características PDA Pocket Loox N500

Como se puede observar se produce una rebaja considerable en cuanto a las prestaciones tanto de batería como de velocidad de procesamiento de la PDA, ya que la RAM utilizada se reduce a 64 MB, y la batería pasa a ser de 1200 mAh, aunque posteriormente se compraron baterías de 1500 mAh.

Otra desventaja de esta PDA es que no permite el apagado de la pantalla durante la ejecución del programa, sino que al apagar la pantalla el

dispositivo se suspende automáticamente. Como el driver de la PDA no está implementado para que siga funcionando en caso de una suspensión del programa, no resulta viable la opción de suspender la ejecución de la aplicación y reanudarla cuando el monitor lo necesite. Además, de este modo se interrumpiría también el funcionamiento del hilo encargado de detectar las pulseras y actualizar la base de datos, con lo que se perdería gran cantidad de información y se debería replantear la base del funcionamiento del programa. Por ello no resulta una opción viable la suspensión de la PDA.

---

## **CAPÍTULO 4. ANALÍISIS Y RESULTADOS**

---

*En este capítulo vamos a abordar el análisis de las propuestas ofrecidas en el anterior capítulo. Realizaremos un estudio de los resultados obtenidos, corregiremos los errores detectados y optimizaremos el funcionamiento de las distintas soluciones planteadas.*





## 4.1 MÉTODOS DE EVALUACIÓN

En este apartado se describen las pruebas realizadas para la evaluación de las distintas características del sistema durante el proceso de desarrollo de la aplicación.

### 4.1.1 EVALUACIÓN DE LA CORRECTA COMUNICACIÓN ENTRE PULSERAS Y PDA

Las pruebas de evaluación de la correcta comunicación entre pulseras y PDA se realizaron, en primer lugar, con los prototipos (sin carcasa) de la tarjeta SD, y con 4 pulseras, cuyo período de emisión estaba configurado a 2.5 segundos.

Estas pruebas, consistieron en la identificación de las tramas recibidas y la comprobación de que el sistema detectaba correctamente al usuario relacionado con ese identificador. Se obtuvo una latencia, en el caso de evento por umbral, de entre 2 y 3 segundos, lo cual se encontraba dentro de los márgenes esperados.

Además, el paso de lista se realizaba correctamente detectándose las pulseras para una distancia de unos 15 metros, dentro del seminario [Figura 62]. Estas pruebas fueron realizadas dejando las pulseras orientadas hacia la antena de la PDA y sin contacto con personas.

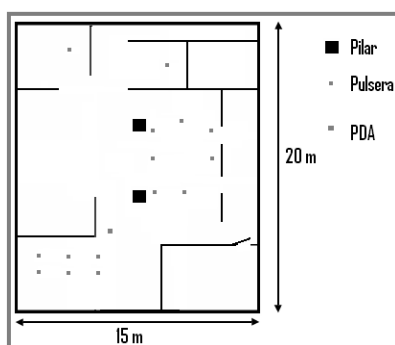


Figura 62. Pruebas realizadas en seminario de trabajo

### 4.1.2 EVALUACIÓN DE LA DISTANCIA DE EMISIÓN/RECEPCIÓN

Otra de las características más importantes de este sistema es la distancia máxima a la que se puede detectar a un niño. Para ello, debemos discernir entre distancia máxima absoluta y distancia máxima funcional. Se entiende por distancia máxima absoluta la máxima distancia a la que la PDA puede detectar la señal de una pulsera, aun siendo esta captura de forma puntual en un intervalo largo de tiempo. Sin embargo, la distancia máxima funcional, es la necesaria para que el sistema sea útil para las personas encargadas de su uso, es decir, la distancia máxima a la que el sistema es capaz de detectar la pulsera cada vez que ésta envía una trama.

Para la realización de este test [Figura 63], se tomaron medidas en los jardines de la Universidad Politécnica de Valencia, para obtener la distancia máxima hasta la cual la antena de la tarjeta SD conseguía captar la señal procedente de las pulseras. Se realizaron dos tipos de medidas, con las pulseras verticales (dipolo orientado según la misma dirección que el dipolo que constituye la antena de la tarjeta SD, por lo tanto máxima directividad), y con las pulseras horizontales.

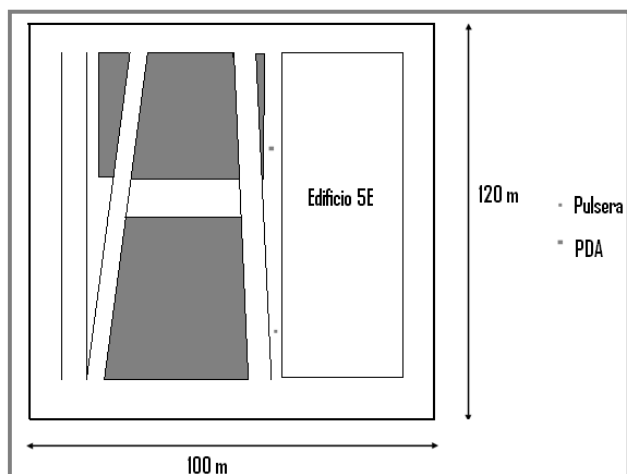


Figura 63. Escenario de las pruebas realizadas en la UPV.

En el primer caso se captaban valores hasta una distancia de 10 metros, a partir de la cual se perdían las tramas, y la antena no era capaz de

detectarlas. Y en el segundo caso se obtenían valores de hasta 55 metros, si bien, éstos no se detectaban constantemente, sino que se perdían muchas tramas, por lo que se establecían intervalos de 15-20 segundos en los que no se detectaba ningún tipo de señal.

Posteriormente, una vez recibidas las tarjetas SD con la antena integrada y las pulseras de Texas Instruments, así como las carcasas de plástico, se realizaron pruebas más cercanas al producto final. Los resultados obtenidos para este caso, muy parecidos al anterior, se muestran en la siguiente tabla. Donde se observa la potencia recibida RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) en dBm. Podemos encontrar diversos estudios relacionados con el nuestro [78].

Distancia (m)	RSSI (dBm)
0,1	-25
0,2	-37
0.3	-60
0,5	-67
1	-70
5	-80
10	-85
15	-87

Tabla 21. Tabla que relaciona distancia y potencia

### 4.1.3 LATENCIA (INTERVALO DE RECEPCIÓN)

La utilidad de esta prueba consiste en comprobar que el sistema interactúa con el usuario periódicamente según el intervalo de emisión configurado en la pulsera, y no se produce ningún retardo relacionado con la gestión de los datos en el programa.

Para la realización de esta evaluación se utilizaron, en primer lugar, cuatro prototipos de las pulseras, cuyo período de emisión estaba configurado a 2.5 segundos. Se obtuvo una latencia, en el caso de evento por umbral, de entre 2 y 3 segundos, lo cual se encontraba dentro de los márgenes esperados.

El período de emisión de las pulseras se redujo a 1.5 segundos para las pulseras definitivas. El objetivo de esta reducción del intervalo se debe a la ventaja que supone recibir más tramas durante el paso de lista y poder conceder más fiabilidad a la solución planteada. En este caso, las pulseras emiten su trama 20 veces para el caso de paso de lista manual, y 120 para el caso automático, en el caso de que éste se dejara en 3 minutos. Además, de esta forma se realiza la detección por umbral de una forma mucho más rápida, ya que se realiza esta comprobación cada 1.5 segundos, en lugar de cada 2.5 segundos, como estaba configurado anteriormente.

Sin embargo los resultados no fueron tan buenos como los realizados anteriormente, ya que se utilizó un mayor número de pulseras, lo que propiciaba un mayor retardo en la actualización y extracción de los datos. Por ello, el tiempo se elevó a una media de 3.5 segundos.

### **4.1.4 ESCALABILIDAD**

Para el desarrollo de un proyecto de este tipo es necesario que el sistema pueda detectar las pulseras de todos los niños del grupo, ya que esa es la única forma en la que puede resultar útil a los usuarios. Por ello, la evaluación de la escalabilidad fue uno de los puntos más importantes de las pruebas de test [Figura 64].

Las pruebas realizadas con los prototipos no produjeron ningún error, debido a que sólo se disponía de 4 pulseras para realizar las pruebas, y el sistema las detectaba perfectamente. Una vez recibidas las pulseras finales, se procedió a aumentar el número de pulseras que el sistema debía detectar, con el fin de detectar posibles errores en el driver o el firmware de la tarjeta. De hecho, durante la realización de estas pruebas se detectó que la aplicación dejaba de funcionar sin mostrar ningún mensaje de error.

La detención de la ejecución se producía de modo inesperado y sin seguir ningún tipo de patrón de comportamiento.

Tras numerosos intentos de localización del error, se descubrió que la tarjeta SD dejaba de enviar interrupciones, y la PDA se bloqueaba debido al exceso de consumo de CPU al que se veía sometida al gestionar los datos de un mayor número de pulseras. Una vez detectado este error se fueron reduciendo el número de pulseras hasta obtener el número máximo para poder hacer las pruebas de forma estable. Debido a la falta de tiempo provocada por el retardo en la entrega de las pulseras y la detección de este error, el número de pulseras con el que se realizó la prueba se acordó que fuera de 14, la mitad de un grupo de niños.



Figura 64. Fotografía paso de lista individual

Sin embargo, la latencia en el caso de evento por umbral de potencia superaba en muchos casos los tiempos esperados. Así, el tiempo medio de detección de una pulsera cercana rondaba los 3 segundos, pudiendo llegar incluso hasta los 6 segundos.

#### 4.1.5 EVALUACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD

Para la evaluación de la funcionalidad se procedió a demostrar el sistema a los usuarios finales del mismo, los cuales, con sus opiniones supusieron una

realimentación de cara a realizar las mejoras oportunas. Por ello, una vez conseguida una versión estable del programa se procedió a concretar una primera prueba [Figura 65] con los monitores de la Escola d'Estiu. Dicha prueba, realizada el 23 de julio de 2008, tuvo como finalidad mostrar el programa y el funcionamiento del mismo.

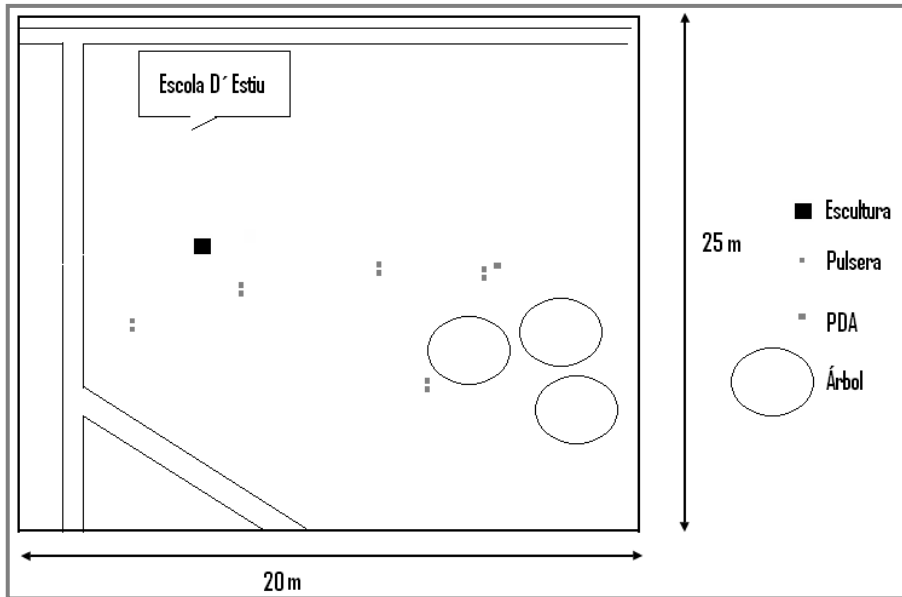


Figura 65. Escenario de las pruebas realizadas en la UPV

La prueba se realizó con 5 monitores, los cuales llevaban una pulsera en cada muñeca (10 pulseras en total). El lunes 28 de julio de 2008 se realizó la primera prueba con los niños de la Escola d'Estiu, concretamente las pruebas se realizaron con el grupo 1ºC, cuya edad estaba comprendida entre los 5 y 6 años. Para la realización de estas pruebas se terminaron de preparar las pulseras, y se les puso la pegatina con el logotipo de la Escola d'Estiu.

Al proceder al paso de lista se observó que no se detectaba ningún niño situado a más de 2 metros de distancia [Figura 66]. En la siguiente gráfica se muestra la relación entre la potencia recibida en función de la distancia de separación en este caso.

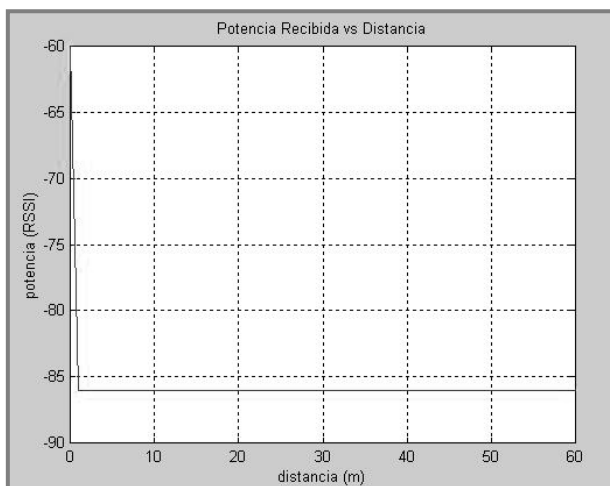


Figura 66. Potencia recibida de las pulseras vs distancia

Al comparar ambas gráficas [Figura 67] se observa que la curva de potencia llega al mínimo mucho antes que en el caso inicial.

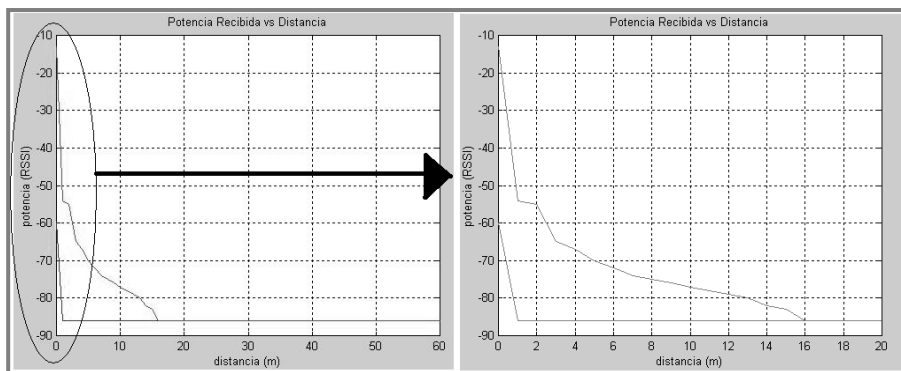


Figura 67. Comparación potencia recibida de las pulseras vs distancia

Después de comprobar que las baterías seguían manteniendo el voltaje, se descubrió que el problema radicaba en las pegatinas, que eran metálicas. Este hecho provocaba que las pulseras se encontraran en el interior de una jaula de Faraday [79] y [80], ya que por un lado tenían un plano de masa creado por la pila, y en el otro un plano metálico creado por la pegatina.

Esta era la causa de la altísima atenuación a la que se veía sometida la señal, y que provocaba que el sistema no detectara ningún tipo de señal,

por lo que una vez despegadas las pegatinas, se volvieron a obtener los mismos resultados que en las pruebas realizadas [Figura 68] con los monitores.



Figura 68. Fotografía durante el desarrollo de actividades en la Escola d'Estiu



## 4.2 COSTES

En cualquier proyecto, uno de los aspectos más importantes es la relación calidad-precio del producto. Por ello, para conseguir un producto competitivo debe plantearse previamente la tecnología a desarrollar y su precio, ya que es preferible un producto que tenga menos funcionalidades, pero un coste asequible, que uno tan completo que su precio sea desorbitado.

En este apartado se va a realizar un breve estudio sobre los costes relacionados con el desarrollo de una solución de este tipo, para una producción de 3.000 pulseras.

Comenzando con el desarrollo del hardware, cabe destacar que tanto el de la tarjeta SD como el de las pulseras es el mismo, por lo que el coste de producción de un chip de cada tipo es el mismo.

El desarrollo hardware lleva asociados unos gastos iniciales que comprenden: 600 € en conceptos de ingeniería, 480 € en pantallas de serigrafía y 400 € en gastos iniciales de la PCB ("Printed Board Circuit"), lo que hace un total de 1.480 €. Todos estos gastos suponen un incremento del coste de producción en 0,493 €/unidad.

En materiales se incluyen conectores, resistencias, condensadores y demás componentes electrónicos, pero lo básico en la placa es el system-on-chip CC2430 que incluye un microprocesador 8051 y un transceptor a 2,45GHz preparado para *ZigBee*.

Las pilas que utilizan las pulseras tienen un precio aproximado de 0,90 €/unidad para pedidos superiores a 1.000 unidades.

Respecto a la carcasa de las pulseras, la parte más cara es el molde. Para la pulsera cuesta unos 5.700 € y cada carcasa tiene un valor de 1,5 €. No es rentable para pedidos reducidos.

En cuanto a la carcasa de la tarjeta SD, para la realización de las pruebas se utilizó un prototipo rápido que cuesta alrededor de 300 €, más económico si la compra se reducía a 2 carcasas.

La pulsera tiene un coste de 0,02 €/100 unidades.

Han participado activamente 3 desarrolladores encargados del diseño e implementación del Driver, Firmware y la aplicación de PDA, con un periodo invertido de 4 meses de trabajo.

El coste de mano de obra asciende a 480 horas/ desarrollador.

<b>Gastos Iniciales</b>	
<b>Ingeniería</b>	600 €
<b>Serigrafía</b>	480 €
<b>PCB</b>	400 €
<b>Molde Pulsera</b>	5.700 €
<b>Gastos de Producción</b>	
<b>Carcasa Pulsera</b>	1,50 €/ud.
<b>Frabricación Hardware</b>	3,982 €/ud.
<b>Materiales Hardware</b>	16,24 €/ud.
<b>Baterías</b>	0,90 €/ud.
<b>Desarrollo software</b>	
<b>480 horas/desarrollador</b>	

Tabla 22. Tabla de costes del proyecto

## 4.3 RESULTADOS I

A continuación vamos a mostrar la primera versión de la aplicación desarrollada y con la que se realizaron las primeras pruebas en campo con niños y niñas de la Escola d'Estiu.

### 4.3.1 APLICACIÓN DESARROLLADA. FASE I

A continuación se muestra el mapa de pantallas [Figura 69] del interfaz gráfico desarrollado:

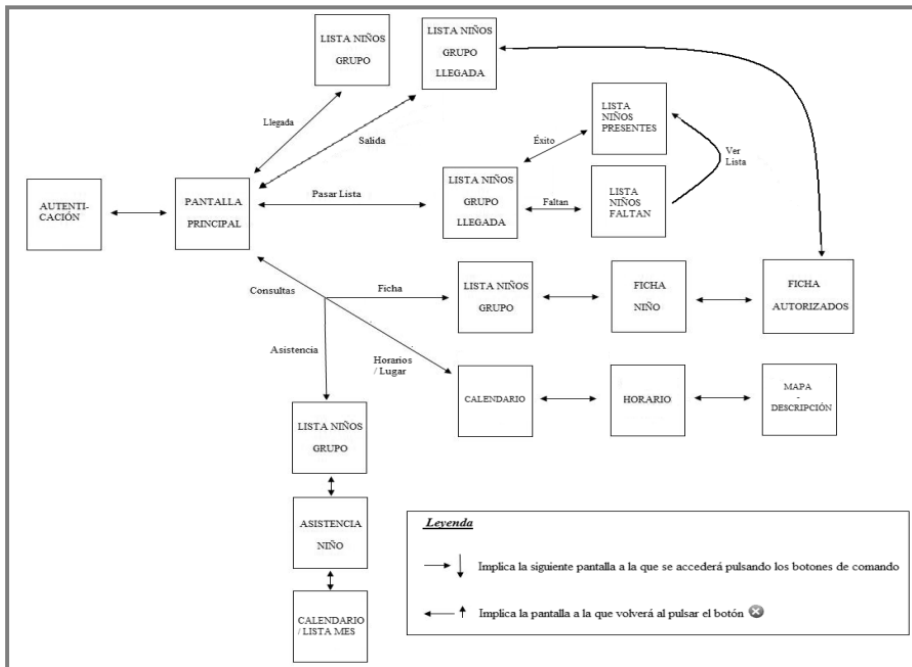


Figura 69. Mapa del interfaz gráfico de la aplicación

#### 4.3.1.1 PANTALLA INICIAL (AUTENTICACIÓN)

La primera pantalla [Figura 70] consiste en la autenticación del usuario de la PDA. En ella se introduce el DNI, y se pulsa el botón aceptar. En el caso de que sea incorrecto, aparecerá el mensaje “Usuario No Autorizado” [Figura 71], en el recuadro correspondiente.



Figura 70. Imagen de la pantalla inicial



Figura 71. Imagen mensaje de error

Si es válido se accederá al menú principal, y dependiendo del cargo del usuario, se aplicarán las restricciones necesarias (Monitor, Responsable, Administrador). Una vez comience la ejecución del programa se generará un fichero histórico por día y usuario, quedando registradas cada una de las acciones realizadas con el dispositivo.

Al pulsar el botón salir se pregunta si es la opción deseada [Figura 72].



Figura 72. Imagen del mensaje de salida del programa

#### 4.3.1.2 MENÚ PRINCIPAL

El menú principal [Figura 73] se encuentra dividido en 4 secciones:

- **Actualización de la llegada y salida de los niños:** El usuario dará de alta a los niños en el bloque llegada, lo que propiciará la monitorización por parte del sistema. En el bloque de salida se dará de baja a los niños, y el sistema dejará de monitorizar su posición.
- **Pasar lista:** donde se realiza una búsqueda del posicionamiento de los niños. Este bloque forzará al sistema a realizar un rastreo de la

posición de los niños de un grupo determinado, y mostrar los resultados pertinentes.

- **Consultas:** donde se accede a la información de la base de datos según criterios determinados en función del tipo de usuario.
- **Cerrar sesión:** para cambiar de usuario.



Figura 73. Imagen del menú principal

#### 4.3.1.3 LLEGADA

---

Al pulsar sobre la casilla de llegada [Figura 74], el sistema actualizará la hora de llegada del niño, y le dará de alta ese día, con lo que el sistema comenzará su monitorización.



Figura 74. Imagen del menú llegada

En esta pantalla, al pulsar sobre el nombre del niño, se podrá ver su ficha (ver consulta de ficha).

El usuario acercará la PDA a la pulsera del niño. El sistema detectará al niño y mostrará un mensaje al monitor. Éste deberá validar [Figura 75] la llegada pulsando el botón OK, lo que conllevará la actualización correspondiente en la lista de llegada de ese día.



Figura 75. Imagen mensaje validación de usuario

Al pulsar el botón Grupo el sistema comenzará a detectar todas las pulseras de los niños correspondientes a su grupo. El sistema mostrará un mensaje para cada niño detectado, y el monitor se encargará de validarlo pulsando el botón OK. Si se desmarca la selección de la llegada de un niño, debido a algún error en el procedimiento anterior, se consulta si es la opción deseada [Figura 76].



Figura 76. Imagen mensaje de modificación estado de usuario

El monitor permanecerá informado del número de niños que han llegado a la Escola mediante los mensajes: “Han llegado x de N niños.”

Al pulsar el botón de cerrar pantalla (una x en un círculo rojo), se guardarán los datos, siendo esa la lista con la que el sistema trabajará ese día, y se volverá al menú principal. Se podrá acceder, posteriormente, al menú, para validar la llegada de un nuevo niño al grupo.

#### 4.3.1.4 SALIDA

---

Al pulsar sobre la casilla de salida se abrirá la lista de niños [Figura 77] que han sido dados de alta en ese grupo ese día.





Figura 77. Imagen del menú salida

En esta pantalla, al pulsar sobre el nombre del niño, se accederá a su ficha (ver consulta de ficha).

Acercando la PDA a la pulsera del niño, el sistema detectará este niño y mostrará su lista de autorizados.

Marcando la casilla situada junto al nombre del niño también se accederá a dicha lista. Si se desmarca la selección de la llegada de un niño, debido a algún error en el procedimiento anterior, se consulta si es la opción deseada [Figura 78].



Figura 78. Imagen mensaje modificación de registro

El monitor permanecerá informado del número de niños que quedan en la Escola d'Estiu en su grupo mediante los mensajes: "Quedan x de N niños"



Figura 79. Imagen personas autorizadas

En este formulario se muestran las personas autorizadas [Figura 79] a recoger al niño. Si se pulsa sobre la persona autorizada se pueden realizar dos acciones:

- Marcar la salida, indicando que esa es la persona que ha recogido al niño ese día, y se vuelve a la pantalla salida, donde ya se han actualizado los datos.
- Ver su ficha (Ver consulta de ficha).

Al pulsar el botón de salir de menú (una x roja en un círculo), se guardarán los datos, siendo esa la lista con la que el sistema continuará trabajando ese día.

#### 4.3.1.5 CONSULTAS

---

En esta sección se realizan las consultas a las que necesita acceder el usuario. Esta pantalla está dividida en 3 tipos de consultas [Figura 80].



Figura 80. Imagen consultas a realizar

#### 4.3.1.5.1 CONSULTA DE FICHAS

Al pulsar el botón Ficha se accede a la lista de los niños del grupo [Figura 81], y pulsando sobre el nombre de uno de ellos se accede a su ficha. Acercando la PDA a la pulsera del niño, se abre la ficha del niño correspondiente.

Pulsando la "x" se vuelve a la pantalla principal.



Figura 81. Imagen de la lista de alumnos del grupo

La ficha del niño, consiste en un formulario de 3 pestañas, dividido en los bloques:

- Datos personales [Figura 82]
- Datos médicos [Figura 83]
- Personas autorizadas [Figura 84]

Pulsando en cada una de las pestañas se accede a la ficha correspondiente.



Figura 82. Imagen menú datos personales del niño



Figura 83. Imagen menú datos médicos



Figura 84. Imagen menú personas autorizadas a la recogida del niño

Pulsando la “x” se vuelve a la lista de niños del grupo. Pulsando sobre el nombre de una persona autorizada se accede a su ficha [Figura 85].



Figura 85. Imagen ficha datos persona autorizada

#### 4.3.1.5.2 CONSULTA DE ASISTENCIA

---

Al pulsar esta opción se accede a la lista de los niños del grupo [Figura 86].



Figura 86. Imagen listado del grupo

Al pulsar sobre el nombre de algún niño se accede a su historial [Figura 87], el cual puede visualizarse por día o mes. Este proceso también se puede realizar acercando la PDA a la pulsera del niño. Pulsando la “x” se vuelve al menú de consultas.



Figura 87. Imagen menú asistencia por días

Pulsando sobre la pestaña “Día” se accede a un calendario, en el cual, pulsando sobre un día determinado aparece un mensaje [Figura 88] con la hora de llegada, la hora de salida, y la persona que recogió al niño.



Figura 88. Imagen mensaje datos de un día del niño

Pulsando sobre la pestaña “Mes” aparece una lista [Figura 89] de todos los días, con la hora de llegada, de salida, y la persona que recogió al niño. En el caso de que el niño no asistiera un día determinado, aparecerá el mensaje “no asistió” junto a la fecha correspondiente.



Figura 89. Imagen asistencia mensual niño

#### 4.3.1.6 PASAR LISTA

---

Al introducirse en el formulario "Pasar Lista", se abre la lista de los niños que han sido dados de alta ese día. De este modo se puede pasar lista de dos formas.

##### 4.3.1.6.1 INDIVIDUAL

---

- **Manual:** Pulsando en la casilla situada junto al nombre de cada niño, se marca como controlado.
- **Automático:** Acercando la PDA a la pulsera del niño el sistema detecta de que niño se trata y lo actualiza.

Al pulsar "x" se calcula si están todos los niños o si falta alguno, se comunica al usuario, y se vuelve al menú principal.

En este caso, mientras el monitor va pasando lista permanece informado del número de niños mediante los mensajes: "Quedan x de N niños" [Figura 90]





Figura 90. Imagen del menú de paso de lista individual

#### 4.3.1.6.2 GRUPO

Si se quiere realizar de forma automática se pulsa el botón Grupo. En el caso de pulsar esta opción, se forzará al sistema a realizar un rastreo y mostrar los resultados obtenidos. Estos resultados se dividen en dos tipos:

- **Éxito:** Todos los niños se encuentran dentro del área de cobertura. Se muestra el mensaje de éxito, y debajo una lista con todos los alumnos junto a un color (rojo, amarillo o verde), que indica la distancia del niño respecto al monitor. Esta lista estará ordenada según la distancia, primero los más lejanos, y por último los más cercanos [Figura 91].



Figura 91. Imagen paso lista grupal, con éxito

Al pulsar el botón “x” se vuelve a la ventana de consultas.

- **Fracaso:** Hay algún niño que ha sido dado de alta y del que no se detecta señal [Figura 92]. Se realiza un aviso acústico, y se muestra una pantalla con los niños que no se han reconocido [Figura 93].

También existe la posibilidad de que el sistema detecte a un niño del grupo que no había sido dado de alta en el registro de llegada. En ese caso se mostrará un mensaje al monitor describiéndole cual es el niño que se ha encontrado, y será dado de alta en la lista con la que el sistema trabajará ese día.



Figura 92. Imagen paso lista grupal, aviso niños no detectados



Figura 93. Imagen paso lista grupal, niño no detectado

#### 4.3.1.7 CERRAR SESIÓN

Simplemente se pregunta si se está seguro de que querer cerrar la sesión [Figura 94], y si es así, se vuelve a la pantalla de inicio.



Figura 94. Imagen cierre de sesión

#### 4.3.2 RESULTADOS DE LA PRUEBA PILOTO

En julio de 2008 se procedió a realizar la prueba piloto con los niños de la Escola d'Estiu [Figura 95], [Figura 96], [Figura 97] y [Figura 98]. Se realizó el paso de lista durante el almuerzo de los niños, detectándose la presencia de todos ellos. Con ello, se cumple una de las especificaciones por parte de la Escola, la detección de los niños al finalizar o comenzar una actividad.

El paso de lista automático no produjo ningún evento, ya que todos los niños eran detectados en un tiempo menor a 5 minutos, tiempo configurable que se había establecido para realizar las pruebas ese día.

Los tiempos de paso de lista individual tuvieron el mismo comportamiento, se produjo una media de tiempo de latencia en torno a 3-4 segundos.

Posteriormente se dividió el grupo de niños en 2 subgrupos, para realizar diferentes actividades.

Estos grupos se encontraban a una distancia de unos 25 metros. Al situarse cerca de un grupo no se detectaba a los niños del otro, debido a la distancia y la atenuación debida a los cuerpos de los niños.

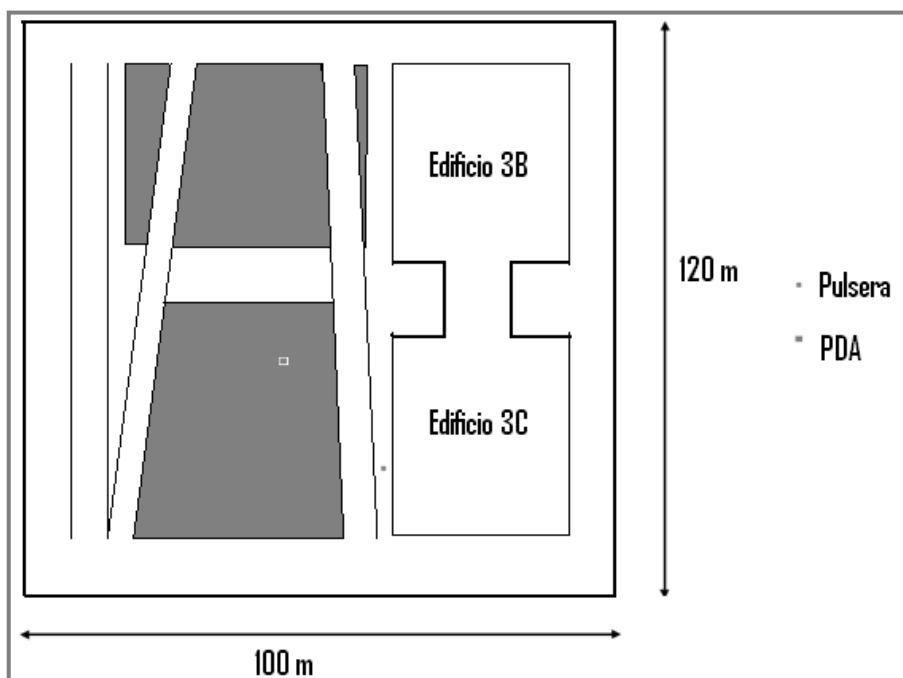


Figura 95. Escenario de realización de la prueba piloto

En una distancia menor a 7 metros se detectaban todos los niños que se encontraban en el grupo, independientemente de la posición de las pulseras o de la atenuación debida a los cuerpos de los niños.



Figura 96. Monitor realizando pruebas con la aplicación



Figura 97. Monitor realizando paso de lista individual



Figura 98. PDA y pulseras empleadas en las pruebas

## 4.4 DISCUSIÓN I

En este apartado se procederá a realizar un análisis de los resultados obtenidos.

### 4.4.1 NECESIDAD DE UN SISTEMA DE LOCALIZACIÓN EN TIEMPO REAL

Desde el comienzo de la implantación de las nuevas tecnologías a los sistemas de la denominada sociedad del bienestar, se han producido numerosos desarrollos en aplicaciones destinadas a mejorar la vida de las personas. Cabe destacar los avances producidos en todos los aspectos relacionados con la domótica, donde una serie de sistemas se encargan de automatizar una casa, con todos sus electrodomésticos, para que el usuario no tenga más que programar las características que satisfagan sus necesidades.

Actualmente está tomando especial relevancia la integración de las nuevas tecnologías en el desarrollo de sistemas de localización en tiempo real, como es el caso de parques de ocio. Sirva de ejemplo el seminario de sistemas de radiofrecuencia aplicadas a la seguridad de los niños en lugares turísticos, llevado a cabo en Mallorca durante el mes de abril de 2008 [76].

Estos avances no sólo se utilizan para localizar usuarios, sino también para agilizar procesos relacionados con los mismos. En el parque de ocio *Kindercity*, que también participó en el seminario realizado en Mallorca, se marca a los niños con una pulsera distintiva de manera que cada vez que se acercan a una atracción en particular, ésta es activada identificándoles y cobrando automáticamente el precio de la entrada a su cuenta particular, al estilo de las tarjetas-monederó.

En nuestro caso, la Escola d'Estiu, ante la presencia de 2.000 niños durante todo el verano, precisa de un sistema de estas características que permita la localización y gestión de los datos de todos ellos, y que sirva como medida de seguridad ante la posible distracción de alguno de ellos.



La solución desarrollada debe ser lo más rápida y sencilla posible. De hecho, uno de los requisitos por parte de la Escola d'Estiu fue que se debía acceder a todas las funcionalidades del sistema con 4 botones como máximo. Ello es debido a que algunos de los usuarios consideran que el sistema realiza la misma función que realizaban ellos escribiendo las incidencias en las hojas de datos, y controlando que todos los niños se encuentran a su alrededor. Es decir, para ellos el sistema se convierte en un trabajo más dentro de su jornada laboral.

Por ello el sistema debe convencer a estos usuarios de las ventajas que les puede aportar, tanto en la gestión y conservación de los datos, ya que éstos se encuentran almacenados en un servidor, como por tener controlados a los niños en todo momento, y no sólo cada vez que finaliza una actividad, como se realiza hasta el momento.

## **4.4.2 DISCUSIÓN**

Uno de los aspectos fundamentales que se tuvieron en cuenta durante el desarrollo de la aplicación fue conseguir una versión que se mantuviera estable durante el funcionamiento de las pruebas, ya que se pretendía evitar que los monitores se llevaran una mala impresión de un sistema que debiera ser reiniciado cada cierto tiempo, lo que implicaría perder el contacto visual de los niños en ese momento. Este hecho se ha conseguido, el sistema se mantuvo estable, y tanto la tarjeta como el *driver* funcionaron durante todas las pruebas, sin que hubiera necesidad de hacer ningún tipo de reinicio de la aplicación.

### **4.4.2.1 FUNCIONALIDAD IMPLEMENTADA CORRECTAMENTE**

---

La funcionalidad desarrollada era la demandada por parte de la Escola d'Estiu, y la capacidad de detección de la pulsera cercana a la PDA es correcta. De hecho, en la toma de resultados se comprobó que se produce una reducción muy brusca de la potencia recibida al separar 30 centímetros la pulsera de la antena receptora. Así, el valor de la potencia recibida pasa de -30 a una distancia de 3 cm, a -60 a una distancia de 30 cm.

Como se observa [Figura 99], la relación entre la potencia recibida y la distancia entre la pulsera y la tarjeta SD, se asemeja a una exponencial decreciente, donde el valor se reduce mucho para los primeros valores y después se estabiliza. Este hecho da la capacidad al sistema para poder discernir con gran fiabilidad cual es la pulsera situada al lado de la PDA, lo que resulta muy útil en la programación de los eventos por umbral de potencia.

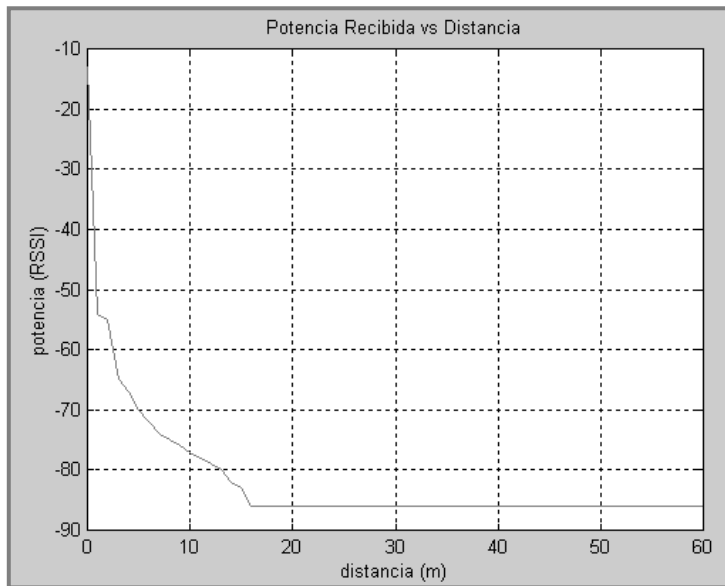


Figura 99. Gráfica de la potencia recibida de la pulsera vs distancia

En cuanto al paso de lista grupal, actualmente el sistema posee un margen de seguridad de casi 10 metros, lo cual permite realizar el recuento de los niños cada vez que finaliza una actividad y en el tiempo del almuerzo, que son los momentos en los que los monitores realizan actualmente el paso de lista.

Aunque las funcionalidades básicas están cubiertas, se necesita realizar una serie de mejoras que permitan que el sistema se ajuste exactamente a las necesidades de los usuarios finales del sistema:

- *Reducir el tiempo de latencia* en el paso de lista individual a 1.5-2 segundos. Actualmente el tiempo de latencia se encuentra en torno a 3.5 segundos, lo cual supone un retardo importante en el caso de

entrada de los niños al autobús, ya que es un proceso que se debe realizar de forma rápida, y no se puede permitir tener que esperar debido a problemas con el sistema.

- *Aumentar el margen de seguridad* a 20 metros, que es el rango donde se encuentran los niños durante una actividad determinada. Es conveniente poder ampliar este margen hasta los 20 metros, que es el rango donde se deberían encontrar los niños durante toda la mañana, para poder realizar estos pasos de lista incluso durante el desarrollo de las actividades, y no sólo al finalizar las mismas.
- *Desarrollar la monitorización de la batería de un modo más efectivo*, que permita el uso de una sola batería durante el funcionamiento de la jornada de la Escola d'Estiu. Para las siguientes versiones se usará conexión Wi-Fi para conectar con el servidor central. Esto implica un gasto mucho más elevado de la batería de las PDAs, y por ello se deberá hacer un control mucho más exhaustivo del gasto de energía.

#### **4.4.2.2 INICIO DE LA SEGUNDA FASE**

---

Una vez realiza la prueba piloto, se decide abordar la segunda fase del proyecto, donde se va a proceder a mejorar las carencias detectadas, así como a realizar mejoras en el sistema y en el aspecto de la aplicación. Esta segunda fase comprende un segundo período de tiempo que abarca casi dos años de trabajos.

También se comienza a pensar en el desarrollo de una aplicación de escritorio que enlace con la aplicación móvil, y que pueda aportar nuevas funcionalidades y servicios a la Escola d'Estiu. Hablaremos sobre estas posibilidades en la discusión de esta segunda fase.

## 4.5 RESULTADOS II

En este apartado retomamos de nuevo la muestra de resultados y las mejoras aplicadas a la aplicación desarrollada.

### 4.5.1 DISEÑO DEL DISPOSITIVO RECEPTOR

Se ha trabajado en el diseño de un nuevo dispositivo receptor [Figura 100], desarrollando fundamentalmente dos aspectos, uno de diseño y otro de funcionalidad.

Se han corregido los fallos detectados que aportaba el diseño anterior, presentando diversas soluciones que se adaptan a nuestras necesidades [Figura 101].

El principal problema que se detectó en el anterior receptor es que no era completamente estanco, lo que dificultaba a los usuarios del mismo el participar en actividades de tiempo libre con agua o en la piscina, por lo que se decidió desarrollar un nuevo dispositivo receptor totalmente estanco.

Por otra parte se optó por la opción de serigrafiar el logo en el receptor y evitar las pegatinas metálicas que causaron problemas al generar un efecto de Jaula de Faraday.



Figura 100. Nuevo formato de receptor (pulsera)



Figura 101. Comparación modelos de receptores

## 4.5.2 APLICACIÓN DESARROLLADA. FASE II

En primer lugar podemos destacar el desarrollo y cambio de imagen que se le ha dado a la aplicación. Se han desarrollado más en profundidad los menús de trabajo en la aplicación y además se han mejorado los tiempos de respuesta y procesamiento de la misma.

### 4.5.2.1 DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO

El Menú Principal [Figura 102], está formado por una serie de botones con iconos que representan cada una de las principales funcionalidades que ofrece la aplicación. Dichos botones permiten un acceso rápido y muy intuitivo gracias a los iconos, que resultan muy representativos. Se trata de un menú circular con 2 pantallas, en el que se ofrecen 4 funcionalidades diferentes en cada una de ellas, a excepción de la tercera pantalla, donde sólo se ofrece una sincronización.

Todas las pantallas disponen de dos zonas comunes para toda la aplicación.

- **La zona de Información:** Situada en la parte superior, indica la pantalla a la que se ha accedido, el nombre del grupo, y la hora actual.
- **La zona de indicación de batería:** Los recuadros rojos situados en la parte izquierda indican el nivel de batería. Cada uno de ellos implica un 4% de batería, por lo que la batería está al 100% cuando hay 25. Cada recuadro vacío indica un 4% de batería gastada.

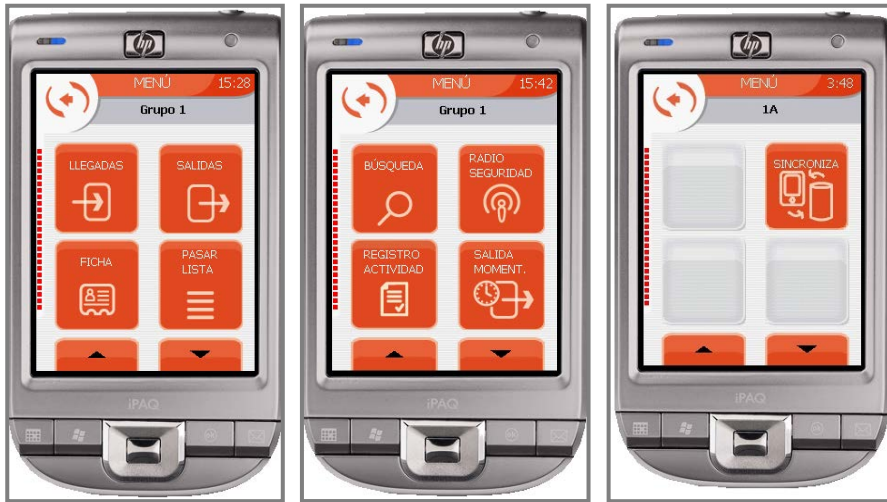


Figura 102. Pantalla Menú Principal (Menú Circular)

Los listados de niños se dividen en dos grupos [Figura 103]:

- **Listados lejanos:** En ellos cada niño está representado por una línea de color verde o rojo, en función de si ha registrado o no, su llegada en el sistema (en los casos de las llegadas y salidas) o si se les ha detectado o no en un paso de lista (en control de listas).
- **Listados cercanos:** En ellos se muestra un listado ordenado alfabéticamente según el nombre, donde se muestra éste en grande, y los apellidos en un tamaño menor.

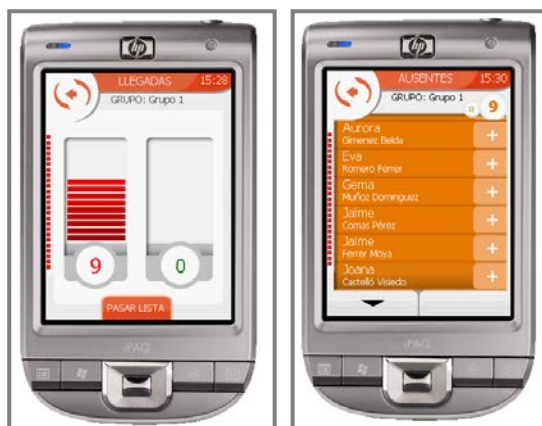


Figura 103. Listado Lejano (izquierda) y cercano (derecha)

#### 4.5.2.2 INICIO DEL PROGRAMA. AUTENTICACIÓN

Para poder acceder a la aplicación, el usuario debe realizar la autenticación de manera correcta. La aplicación muestra inicialmente la pantalla para poder realizarla [Figura 104], en la que aparecen dos cuadros de texto en la parte superior, indicando los campos que el usuario debe rellenar: El nombre de usuario y contraseña, los cuales fueron proporcionados al usuario y son necesarios para poder acceder a la aplicación. El usuario ha de rellenar correctamente dichos campos.



Figura 104. Pantalla de autenticación

El usuario dispone de hasta tres intentos para introducir correctamente su contraseña. En caso de que se agoten los tres intentos, el sistema bloqueará a dicho usuario, impidiendo que pueda autenticarse en la aplicación de ahí en adelante, lo que quiere decir que aunque introdujera correctamente la contraseña, no podrá acceder a la aplicación.

Si el usuario introduce correctamente el nombre de usuario y contraseña (antes de agotar los tres intentos) y pulsa 'Validar', se presentan varias situaciones:

- Si el usuario no se había autenticado antes desde el dispositivo (no están sus datos guardados en la Base de datos local) entonces el sistema ha de comprobar que los datos del usuario figuran en la base de datos del servidor. En este caso, el sistema muestra por pantalla el mensaje: *“El usuario introducido no se ha autenticado anteriormente en la PDA. Se deben sincronizar los datos para poder continuar”*. El usuario pulsa el botón “Aceptar” que aparece debajo del mensaje. Entonces, si el dispositivo está desconectado de la red Wi-Fi, procederá a su conexión a la misma. Se mostrará por pantalla el mensaje de espera: *“Conectando a la Wi-Fi. Espere por favor...”*. Si la conexión Wi-Fi resulta exitosa, entonces el sistema procederá a comprobar si el usuario se encuentra registrado en la base de datos del servidor, y en caso de que así sea, dará la autenticación del usuario como buena y comenzará con el proceso de sincronización de datos (ver apartado Notas Técnicas).
- En el caso en que el usuario ya se hubiera autenticado anteriormente en el dispositivo (y por lo tanto sus datos están registrado en la base de datos local), no será necesario proceder a la conexión Wi-Fi para realizar la comprobación de datos del usuario, y el sistema procederá directamente a la sincronización (ver apartado Notas Técnicas).

Una vez se haya realizado correctamente la autenticación, el sistema muestra por pantalla el mensaje: *“Buscando programas en la base de datos...”*. En el caso en que el usuario sea responsable de grupos en más de un programa cuya fecha de finalización sea posterior al momento en que el usuario se ha autenticado, el sistema mostrará un listado con dichos



programas, entonces cuando seleccione uno, el sistema pasará a mostrar el listado de grupos dentro de ese programa [Figura 105]. Si sólo tiene grupos en un programa, el sistema mostrará directamente el listado de los grupos. El usuario deberá elegir uno de los grupos para continuar con el uso de la aplicación. Si el usuario solo es responsable de un grupo la aplicación pasará directamente al menú principal.



Figura 105. Listado de grupos seleccionables

#### 4.5.2.3 FUNCIONALIDADES

Se describen las funcionalidades de cada uno de los botones que encontramos en la aplicación [Figura 106].

- **Gestión de llegadas:** Mediante esta funcionalidad, el usuario puede validar la llegada, con pulsera o sin ella, de cada uno de los niños que forman parte del grupo del cual es responsable.
- **Gestión de salidas:** Desde esta opción se puede validar la salida definitiva de aquellos niños que previamente han registrado su llegada en el sistema.
- **Gestión de salidas momentáneas:** Desde esta opción se puede validar la salida momentánea de aquellos niños que previamente han registrado su llegada en el sistema, y todavía no han validado su salida definitiva.

- **Control de listas:** Mediante esta funcionalidad, el usuario puede controlar la presencia de todos los miembros de su grupo en un momento determinado.
- **Información individual:** Desde esta opción se puede acceder a la información personal tanto de los alumnos del grupo, como de sus familiares.
- **Información del grupo:** Mediante esta funcionalidad, el monitor puede acceder al registro de actividad de todos los eventos que se han producido durante el uso de la aplicación.
- **Búsqueda individual:** Desde esta opción se puede comprobar la potencia recibida de la pulsera seleccionada, permitiéndose así, conocer la distancia aproximada a la que se encuentra el niño que se estaba buscando.
- **Control del radio de seguridad:** Permite programar el dispositivo móvil para avisar al monitor si alguno de los alumnos con pulsera no ha sido detectado durante un periodo determinado (por ejemplo 5 minutos), para evitar que el alumno sin pulsera pueda perderse.
- **Sincronización:** Permite a la aplicación proceder a la sincronización selectiva de datos (por monitor) con el servidor, de un grupo del que sea responsable el monitor, el cual seleccionará de un listado en el que caso de que sea responsable de más de uno.



Figura 106. Botones de funcionalidades

#### 4.5.2.3.1 GESTIÓN DE LLEGADAS

Este primer apartado ofrece toda la gestión referente a la llegada de los alumnos. Como se ha comentado en el apartado anterior, al acceder a esta funcionalidad, se muestra un listado lejano con todos los alumnos del grupo seleccionado, ordenados según el siguiente criterio:

- **Lista roja:** Aquellos usuarios que no han registrado su llegada.
- **Lista verde:** Aquellos usuarios que han registrado su llegada.

Pulsando sobre la columna de filas, o sobre el número indicativo de los niños que hay en cada lista, se accede a un listado cercano [Figura 107], donde se muestra el nombre de los niños que forman parte de él.



Figura 107. Imagen pantalla llegada (listado cercano)

Las opciones que presenta este formulario (gestión de llegadas) son las que se enumeran a continuación.

##### 4.5.2.3.1.1 VALIDAR LLEGADA DESDE EL LISTADO LEJANO

Cuando el usuario accede al listado lejano de la sección Llegadas, el sistema comienza a leer pulseras automáticamente, de modo que el usuario dispone de dos opciones para validar la llegada:

- **Pulsar el botón 'PASAR LISTA':** Automáticamente se muestra un icono indicativo de que el sistema está procesando la lectura de las pulseras que se encuentran a su alrededor, y el botón comienza a parpadear cambiando su texto por el de 'PARAR'.

A medida que detecta una pulsera perteneciente al grupo seleccionado, que no ha validado su llegada previamente, muestra el nombre del niño detectado, junto a la pregunta: '¿Desea validar la llegada?'

En este caso, el usuario sólo dispone de las opciones:

- Aceptar, que registra la llegada con pulsera del niño mostrado.
- Cancelar, con lo que no volverá a mostrar el mensaje para ese niño hasta el siguiente paso de lista.
- **Acercar la PDA a una de las pulseras:** Automáticamente, el sistema detecta que hay una pulsera situada junto a la PDA, y muestra el mismo mensaje que en el caso del paso de lista grupal, pero sólo para el niño que se encuentra junto a ella. Nuevamente, las opciones de respuesta son 'Aceptar' y 'Cancelar', que repercuten en las mismas acciones. Al validar la llegada, desaparece una línea roja, y se muestra una verde. Los números situados debajo de cada columna de filas, cambian su valor y muestran el número de filas existentes en cada una de las listas. Además, se muestra el nombre del último niño validado encima de las columnas que representan los grupos.

#### 4.5.2.3.1.2 VALIDAR LLEGADA DESDE UN LISTADO CERCANO

---

Cuando el usuario accede al listado cercano de niños ausentes (lista roja) de la sección "Llegadas", el sistema comienza a leer pulseras automáticamente [Figura 108], de modo que el usuario dispone de dos opciones para validar la llegada, aunque sólo de forma individual [Figura 109]:

- **Acercar la PDA a una de las pulseras:** Automáticamente, el sistema detecta que hay una pulsera situada junto a la PDA, y muestra el mismo mensaje que en el caso del paso de lista grupal, pero sólo para

el niño que se encuentra junto a ella. En este caso, el usuario sólo dispone de las opciones:

- Aceptar, que registra la llegada con pulsera del niño mostrado.
- Cancelar, con lo que no volverá a mostrar este mensaje para ese niño hasta el siguiente paso de lista.
- ***Pulsando sobre el nombre del niño:*** En este caso se muestra el mensaje de consulta de validación de llegada. Sin embargo, al no haber sido detectada por el sistema, existen 3 posibles respuestas:
  - Con Pulsera, implica el registro de la llegada del niño con pulsera
  - Sin Pulsera, implica el registro de la llegada del niño, sin pulsera, por lo que el sistema no lo tendrá en cuenta cuando haga un control automático del radio de seguridad.
  - Cancelar, con lo que no se registrará la llegada del niño

Al validar la llegada, se muestra nuevamente la lista de niños ausentes, pero en este caso la fila que corresponde al nombre del niño se muestra en verde durante un segundo, y posteriormente desaparece. Se indica así, el paso del niño, de una de las listas a la otra. Los números situados en la parte superior cambian su valor, para actualizarse al número existente en cada listado.



Figura 108. Detección de un niño en un listado cercano



Figura 109. Validación de Llegada

Al validar la llegada de un niño *sin pulsera* [Figura 110], éste aparecerá como una fila hueca de borde negro en el listado lejano, y su nombre aparecerá sobre fondo negro (letra blanca) en cada uno de los listados cercanos. De este modo se pretende recordar al usuario, de una forma rápida e intuitiva, que ese niño ha registrado su llegada *sin pulsera*. También se representará con una línea negra en los listados lejanos.



Figura 110. Llegada sin pulsera

#### 4.5.2.3.1.3 CANCELAR LLEGADA DESDE UN LISTADO CERCANO

Cuando el usuario accede al listado cercano de niños presentes (lista verde) de la sección Llegadas, el sistema comienza a leer pulseras automáticamente, de modo que el usuario dispone de dos opciones para cancelar la llegada, aunque sólo de forma individual:

- ***Acercar la PDA a una de las pulseras:*** Automáticamente, el sistema detecta que hay una pulsera situada junto a la PDA, y muestra el nombre del niño detectado, junto a un mensaje del tipo: ‘¿Desea borrar la llegada?’ En este caso, el usuario sólo dispone de las opciones:
  - Aceptar, que borra la llegada del usuario.
  - Cancelar, que no realiza ninguna acción
- ***Pulsando sobre el nombre del niño:*** En este caso se muestra el mensaje de consulta de cancelación de llegada. Y cuyas posibilidades son las mismas que las mostradas anteriormente.

Al cancelar la llegada de un niño [Figura 111] se produce el paso inverso al validar llegada:

- En un listado lejano desaparece una fila verde, y se añade una roja.
- En un listado cercano, el nombre del niño se muestra sobre un fondo rojo durante un segundo, y posteriormente desaparece de la lista.



Figura 111. Pregunta Cancelación Llegada

#### 4.5.2.3.2 GESTIÓN DE SALIDAS

---

En este apartado se centraliza la gestión de salida de los niños pertenecientes al grupo seleccionado. Dicha gestión se conforma de:

- Selección o detección del niño
- Visualización de las personas autorizadas a recogerlo
- Comprobación de la identidad de las personas autorizadas
- Selección de la persona que lo recoge y almacenamiento de los datos

Al acceder a esta funcionalidad, se muestra un listado lejano con todos los usuarios del grupo seleccionado [Figura 112], ordenados según el siguiente criterio:



- **Lista roja:** Aquellos niños que no han registrado su llegada, o que, habiéndolo hecho, ya han registrado una salida definitiva.
- **Lista verde:** Aquellos niños que han registrado su llegada y todavía no han registrado una salida definitiva.



Figura 112. Listado lejano salida

#### 4.5.2.3.2.1 VALIDACIÓN SALIDA DESDE LISTADO LEJANO

Cuando el usuario accede al listado lejano de la sección Salidas (Definitivas), el sistema comienza a leer pulseras automáticamente, de modo que el usuario sólo puede marcar la salida acercando la PDA a la pulsera del niño.

En este caso sólo se permite marcar la salida de forma individual, y en ningún caso se podrá realizar de forma grupal.

Cuando el sistema detecta el niño situado junto a ella, muestra un formulario donde se encuentra un listado con todas las personas autorizadas a recogerlo. Pulsando sobre el símbolo + de cada una de ellas, se ofrece la información personal del familiar, entre la que se encuentra el

DNI. Documento que los monitores deben verificar antes de permitir la salida del niño.

Una vez seleccionado un familiar, se muestra un mensaje donde se indica el nombre del niño, junto a la pregunta: '¿Desea validar la salida definitiva?'. Las opciones de respuesta son:

- Aceptar, se registra la salida en la BBDD y el sistema deja de tener en cuenta esa pulsera
- Cancelar, se vuelve al listado lejano de la sección salidas.

Una vez validada la salida, desaparece una fila verde, y se añade una roja en la lista de los ausentes, cambiando a su vez el valor de los números situados en la parte inferior de cada una de ellas.

#### 4.5.2.3.2.2 VALIDACIÓN DE LA SALIDA DESDE UN LISTADO CERCANO

---

Cuando el usuario accede al listado cercano de niños ausentes (lista roja) de la sección Salidas, el sistema comienza a leer pulseras automáticamente. El usuario dispone de dos opciones para validar la salida, aunque sólo de forma individual:

- Acercar la PDA a una de las pulseras: Automáticamente, el sistema detecta que hay una pulsera situada junto a la PDA.
- Pulsando sobre el nombre del niño: En este caso se muestra el mensaje de consulta de validación de salida.

En ambos casos, el sistema muestra un formulario donde se encuentra un listado con todas las personas autorizadas [Figura 113] a recogerlo. Pulsando sobre el símbolo + de cada una de ellas, se ofrece la información personal, entre la que se encuentra el DNI. Documento que los monitores deben verificar antes de permitir la salida del niño.

Una vez seleccionado un familiar, se muestra un mensaje donde se indica el nombre del niño, junto a la pregunta: '¿Desea validar la salida definitiva?'. Las opciones de respuesta son:

- Aceptar, se registra la salida en la BBDD y el sistema deja de tener en cuenta esa pulsera
- Cancelar, se vuelve al listado lejano de la sección salidas.

Al igual que en el caso de los otros listados cercanos, al validar la salida, se vuelve a la pantalla de listados cercanos, donde el nombre del niño aparece sobre un fondo rojo durante un segundo. Posteriormente desaparece de la lista.



Figura 113. Listado personas autorizadas y su ficha

#### 4.5.2.3.2.3 CANCELACIÓN DE LA SALIDA DESDE UN LISTADO CERCANO

Cuando el usuario accede al listado cercano de niños ausentes (lista roja) de la sección Salidas, el sistema comienza a leer pulseras automáticamente. El usuario dispone de dos opciones para cancelar la salida, aunque sólo de forma individual:

- **Acercar la PDA a una de las pulseras:** Automáticamente, el sistema detecta que hay una pulsera situada junto a la PDA, y muestra el nombre del niño detectado, junto a un mensaje del tipo: '¿Desea

borrar la salida?'. En este caso, el usuario sólo dispone de las opciones:

- Aceptar, que borra la salida del usuario.
- Cancelar, que no realiza ninguna acción
- **Pulsando sobre el nombre del niño:** Se muestra el mensaje de consulta de cancelación de salida. Y cuyas posibilidades son las mismas que las mostradas anteriormente.

Al cancelar la salida de un niño se produce el paso inverso al de validar llegada. Se vuelve a la pantalla de listados cercanos, donde el nombre del niño aparece sobre un fondo verde durante un segundo. Posteriormente desaparece de la lista.

#### 4.5.2.3.3 4.3 CONTROL DE LISTAS

---

Esta funcionalidad se utiliza para asegurarse de que todos los usuarios que han validado la llegada, se encuentran dentro del radio de seguridad en un determinado momento.

Al igual que en el caso de Validación de Llegadas y Salidas, existen dos posibilidades para conocer la localización de los usuarios:

- **De forma grupal:** Útil para los cambios de ubicación, donde, de forma rápida se puede hacer un paso de lista tanto en el punto de origen, como en el destino.
- **De forma individual:** Útil para la entrada/salida de recintos y medios de transporte, donde los niños han de ir en fila india, y es importante comprobar que cada uno se encuentra dentro del lugar, y no en los alrededores del mismo.

Al acceder a esta funcionalidad, se muestra un listado lejano donde se encuentran, sólo los niños que han validado su llegada, y todavía no han registrado su salida. Todos ellos aparecen en la lista roja, ya que no se realiza la detección de los mismos hasta que el usuario lo solicita.

#### 4.5.2.3.3.1 PASO DE LISTA DESDE UN LISTADO LEJANO

---

Cuando el usuario accede al listado lejano de la sección ‘Paso de Lista’, el sistema comienza a leer pulseras automáticamente, de modo que el usuario dispone de dos opciones para pasar lista:

- **Pulsar el botón ‘PASAR LISTA’:** Automáticamente se muestra un icono indicativo de que el sistema está procesando la lectura de las pulseras que se encuentran a su alrededor, y el botón comienza a parpadear cambiando su texto por el de ‘PARAR’.

A medida que detecta una pulsera perteneciente a la lista roja, desaparecen filas de ésta, y comienzan a aparecer filas verdes en el listado de niños presentes. Además, se muestra el nombre del niño que simboliza la fila, en la parte superior de la pantalla.

Una vez detectados todos los niños, o superado el tiempo destinado a realizar el paso de lista (15 segundos), finaliza la búsqueda de niños, y el usuario puede comprobar el resultado de la operación.

- **Acercar la PDA a una de las pulseras:** Automáticamente, el sistema detecta que hay una pulsera situada junto a la PDA, y realiza la misma acción que cuando detecta un niño en el caso de un paso de lista grupal.

Notas:

Si el sistema detecta una pulsera que no ha registrado su llegada en el sistema, muestra un aviso indicando este hecho. El usuario tendrá la opción de registrar la llegada sin necesidad de ir al registro de llegadas.

Si en un paso de lista individual (acercando la PDA), se detecta un niño al cual ya se le ha pasado lista, se muestra un mensaje del tipo ‘Ya se ha pasado lista’.

#### 4.5.2.3.3.2 PASO DE LISTA DESDE UN LISTADO CERCANO

---

Cuando el usuario accede al listado cercano [Figura 114] de niños ausentes (lista roja) de la sección “Paso de Lista”, el sistema comienza a leer pulseras

automáticamente, de modo que el usuario dispone de dos opciones para pasar lista, aunque sólo de forma individual:

- **Acercar la PDA a una de las pulseras:** Automáticamente, el sistema detecta que hay una pulsera situada junto a la PDA, y el nombre del niño aparece sobre un fondo verde durante un segundo. Posteriormente desaparece y pasa a la lista de niños encontrados.
- **Pulsando sobre el nombre del niño:** El nombre del niño aparece sobre un fondo verde durante un segundo. Posteriormente desaparece y pasa a la lista de niños encontrados.



Figura 114. Listado cercano ausentes menú pasar lista

#### 4.5.2.3.3 CANCELACIÓN PASO DE LISTA DESDE UN LISTADO LEJANO

---

Cuando el usuario accede al listado cercano de niños presentes (lista verde) de la sección Paso de Lista, el sistema comienza a leer pulseras automáticamente, de modo que el usuario dispone de dos opciones para cancelar el paso de lista, aunque sólo de forma individual:

- **Acercar la PDA a una de las pulseras:** Automáticamente, el sistema detecta que hay una pulsera situada junto a la PDA, y el nombre del niño aparece sobre un fondo rojo durante un segundo. Posteriormente desaparece y pasa a la lista de niños ausentes.

- Pulsando sobre el nombre del niño: El nombre del niño aparece sobre un fondo rojo durante un segundo. Posteriormente desaparece y pasa a la lista de niños ausentes.

Notas:

En el caso de que sea un niño sin pulsera, el nombre de éste aparece sobre un fondo negro, tanto en la lista roja como en la verde, y la única forma de realizar su paso de lista, es en un listado cercano pulsando sobre su nombre.

En el caso de que el niño se encuentre realizando una salida momentánea, y el sistema detecte su pulsera, o el usuario pulse sobre su nombre, se mostrará un mensaje indicando su nombre, y un mensaje del tipo: '¿Desea validar la vuelta al grupo?'

En el caso de que el usuario acepte, se cancela la salida momentánea, y el sistema vuelve a tener en cuenta esa pulsera para el caso del paso de lista automático.

- Si no se ha realizado el registro de entrada [Figura 115] de ningún niño, se muestra un mensaje indicando este hecho, y se cargan todos los usuarios del grupo en la lista roja.



Figura 115. Acceso al menú pasar lista sin registro de entrada

#### 4.5.2.3.4 GESTIÓN DE SALIDAS MOMENTÁNEAS

---

Esta sección permite dar de baja del sistema a un niño de forma temporal. En este apartado se centraliza la gestión de salidas momentáneas de los niños pertenecientes al grupo seleccionado. Dicha gestión se conforma de:

- Selección o Detección del niño
- Visualización de los lugares disponibles
- Selección del lugar y almacenamiento de los datos

Al acceder a esta funcionalidad, se muestra un listado lejano con todos los usuarios del grupo seleccionado, ordenados según el siguiente criterio:

- **Lista Roja:** Aquellos usuarios que han registrado su llegada, y que se encuentran en salida momentánea.
- **Lista Verde:** Aquellos usuarios que han registrado su llegada y todavía no han registrado una salida definitiva, ni momentánea.

##### 4.5.2.3.4.1 VALIDACIÓN SALIDA MOMENTÁNEA DESDE UN LISTADO LEJANO

---

Cuando el usuario accede al listado lejano de la sección Salidas Momentáneas, el sistema comienza a leer pulseras automáticamente, de modo que el usuario sólo puede marcar la salida acercando la PDA a la pulsera del niño.

En este caso sólo se permite marcar la salida momentánea de forma individual, y en ningún caso se podrá realizar de forma grupal.

Cuando el sistema detecta el niño situado junto a ella, muestra un formulario donde se encuentra un listado con los lugares disponibles.

Una vez seleccionado el lugar, se muestra un mensaje donde se indica el nombre del niño, junto a la pregunta: '¿Desea validar la salida momentánea?'. Las opciones de respuesta son:



- Aceptar, se registra la salida en la BBDD y el sistema deja de tener en cuenta esa pulsera
- Cancelar, se vuelve al listado lejano de la sección salidas momentáneas.

Una vez validada la salida, desaparece una fila verde, y se añade una roja en la lista de los ausentes, cambiando a su vez el valor de los números situados en la parte inferior de cada una de ellas.

#### 4.5.2.3.4.2 VALIDACIÓN DE LA SALIDA DESDE UN LISTADO CERCANO

---

Cuando el usuario accede al listado cercano de niños presentes (lista verde) de la sección “Salidas Momentáneas” [Figura 116], el sistema comienza a leer pulseras automáticamente, de modo que se dispone de dos opciones para validar la salida, aunque sólo de forma individual:

- Acercar la PDA a una de las pulseras: Automáticamente, el sistema detecta que hay una pulsera situada junto a la PDA.
- Pulsando sobre el nombre del niño: En este caso se muestra el mensaje de consulta de validación de salida momentánea.

En ambos casos, el sistema muestra un formulario donde se encuentra un listado con los lugares disponibles.

Una vez seleccionado el lugar, se muestra un mensaje donde se indica el nombre del niño, junto a la pregunta: ‘¿Desea validar la salida momentánea?’. Las opciones de respuesta son:

- Aceptar, se registra la salida en la BBDD y el sistema deja de tener en cuenta esa pulsera
- Cancelar, se vuelve al listado lejano de la sección salidas.



Figura 116. Listado lugares salida momentánea

#### 4.5.2.3.4.3 CANCELACIÓN DE LA SALIDA MOMENTÁNEA DESDE UN LISTADO CERCANO

---

Cuando el usuario accede al listado cercano de niños ausentes (lista roja) de la sección Salidas Momentáneas, el sistema comienza a leer pulseras automáticamente, de modo que el usuario dispone de dos opciones para cancelar la salida, aunque sólo de forma individual:

- Acercar la PDA a una de las pulseras: Automáticamente, el sistema detecta que hay una pulsera situada junto a la PDA, y muestra el nombre del niño detectado, junto a un mensaje del tipo: '¿Desea borrar la salida momentánea?'. En este caso, el usuario sólo dispone de las opciones:
  - Aceptar, que borra la salida del usuario.
  - Cancelar, que no realiza ninguna acción
- Pulsando sobre el nombre del niño: En este caso se muestra el mensaje de consulta de cancelación de salida. Y cuyas posibilidades son las mismas que las mostradas anteriormente.

Notas:

Si un usuario está en salida momentánea, aparecerá en los listados con una (S) situada junto a sus apellidos.

Si un usuario está en salida momentánea, no se le tendrá en cuenta al realizar un paso de lista automático.

Si un usuario está en salida momentánea [Figura 117], y su pulsera es detectada por el sistema en alguno de los pasos de lista, o en una detección por umbral, se mostrará un mensaje indicando este hecho. El usuario podrá validar la vuelta del niño al grupo.



Figura 117. Listado selección niño, uno de ellos en salida momentánea

#### 4.5.2.3.5 ACCESO A LA INFORMACIÓN INDIVIDUAL (FICHA)

Esta sección permite acceder a la información individual de los niños [Figura 118] que forman parte de los grupos de los cuales es responsable el monitor que se ha validado en la aplicación.

Al acceder a esta sección se muestra, por defecto un listado con el nombre de los niños del grupo seleccionado. Pero también existe la posibilidad de acceder a la información de los niños de otro grupo, a través del botón 'Seleccionar niño de otro grupo'.

Presionando este botón se muestran los grupos de los cuales es responsable el monitor, y posteriormente los niños del grupo elegido.



Figura 118. Listado selección niño

Al presionar el nombre de uno de los niños, o al acercar la pulsera de uno de ellos a la PDA, se muestra un formulario con su información más relevante [Figura 119].

Dicho formulario está compuesto de un menú circular (de izquierda a derecha) donde se muestran los siguientes datos:

- Datos Personales:
  - Nombre
  - Apellidos
  - Fecha de Nacimiento
  - Sexo
  - Teléfono
  - Teléfono Móvil
- Datos Familiares:

- Nombre
- Apellidos
- DNI
- Vínculo con el niño
- Teléfono
- Teléfono Móvil
- Autorizado ó No a recoger al niño
- Datos de Contacto:
  - Dirección
  - Código Postal
  - Ciudad
  - Provincia
- Datos de Grupo:
  - Nombre del Grupo
  - Monitor Responsable del Grupo
  - Resto de Monitores del Grupo
- Datos Médicos
  - SIP
  - Vacunas
  - Enfermedades Padecidas
  - Alergias
  - Observaciones médicas y alimentos permitidos
- Datos del Registro de Actividad
  - Nombre del Evento
  - Hora a la que se produjo

- Nombre de la persona que lo recoge (Salida Definitiva)
- Nombre del lugar (Salida Momentánea)



Figura 119. Diferentes pantallas de datos en la ficha individual

#### 4.5.2.3.6 ACCESO A LA INFORMACIÓN GRUPO (REGISTRO ACTIVIDAD)

Esta sección permite acceder al registro de actividad de los grupos de los cuales es responsable el usuario.

Al seleccionar un grupo, se muestra un listado con los tipos de eventos [Figura 120] que se desea mostrar:

- Llegadas
- Salidas
- Control Ocasional (Paso de Lista)
- Avisos
- Todo



Figura 120. Ficha: Datos médicos

Los eventos se muestran en un listado paginado [Figura 121], cuyo orden es descendente en el tiempo, es decir, aparecen en primer lugar los últimos eventos que se han llevado a cabo. Ordenados de más moderno a más antiguo.

Cada evento aparece definido por 3 etiquetas, 4 en el caso de marcar una salida:

- Nombre del Evento
- Nombre del niño que lo realizó
- Hora a la que se produjo
- Nombre del Autorizado (Salida Definitiva) o Lugar (Salida Momentánea)



Figura 121. Registro de actividad

#### 4.5.2.3.7 BÚSQUEDA INDIVIDUAL

---

Esta sección permite conocer la potencia recibida por una pulsera en concreto [Figura 122], para hacerse una idea de la distancia a la que se encuentra ese niño.

Al acceder a esta sección se muestra, por defecto un listado con el nombre de los niños del grupo seleccionado. Pero también existe la posibilidad de acceder a la información de los niños de otro grupo, a través del botón 'Seleccionar niño de otro grupo'.

Presionando este botón se muestran los grupos de los cuales es responsable el monitor, y posteriormente los niños del grupo elegido.

Seleccionando uno de los niños, se muestra un formulario donde aparece un listado, en el que sólo se encuentra el nombre del niño junto a un indicador de la potencia recibida.



Este indicador muestra la potencia recibida, que va desde aproximadamente -30 a -100, siendo -30 el valor máximo. Además, posee un fondo que cambia de color en función de la proximidad de la pulsera:

- **Rojo:** Lejos
- **Amarillo:** Distancia Media
- **Verde Claro:** Cerca
- **Verde Fuerte:** Muy Cerca



Figura 122. Pantalla búsqueda niño

#### 4.5.2.3.8 CONTROL DEL RADIO DE SEGURIDAD

---

Esta funcionalidad permite programar el dispositivo móvil para avisar al monitor si alguno de los usuarios con pulsera no ha sido detectado durante un periodo determinado de tiempo [Figura 123], para evitar que el usuario sin pulsera pueda perderse.



Figura 123. Selección tiempo radio control

Si un niño o niños no han sido localizados en el tiempo configurado (con respecto al tiempo de referencia) el sistema da una alarma sonora, y muestra un mensaje [Figura 124] con el siguiente aviso: “Los siguientes alumnos no han sido localizado en ‘tiempo de configuración’ minutos” – Se indicarán abajo los niños que quepan poniendo puntos suspensivos si son demasiados.

Si el sistema detecta otros alumnos no localizados, los añade al mensaje.



Figura 124. Aviso niños no detectados

Al presionar aceptar, el sistema muestra una lista de los niños no localizados [Figura 125] con un botón de búsqueda (mostrará en rojo los niños no localizados y en verde los alumnos detectados como no localizados y vueltos a localizar).



Figura 125. Listado niños perdidos

Pulsando el botón “+” de un alumno:

- Si el niño no ha vuelto a localizar mostrará la última vez que fue localizado [Figura 126] se muestra el aviso “Alumno no localizado desde las ‘hora’. Sigue sin ser localizado”.
- Si el niño ha sido localizado de nuevo, mostrará las dos últimas localizaciones con el aviso “Alumno no localizado desde las ‘hora’. Vuelto a localizar a las ‘hora’”.



Figura 126. Información niño perdido

Al pulsar sobre el botón 'BUSCAR' [Figura 127]

- El sistema apaga la funcionalidad de radio de seguridad durante la búsqueda
- El sistema pasa a buscar los niños que siguen sin ser localizados (funcionalidad de búsqueda)



Figura 127. Búsqueda niños perdidos

Al salir de esta funcionalidad, se borra la lista de alumnos no localizados, y se vuelve a la pantalla inicial.

#### 4.5.2.3.9 RELOJ

---

En la parte superior derecha de cada formulario se muestra el reloj [Figura 128] (hora: minutos). Pulsando sobre él, se muestra un formulario donde aparece el reloj en tamaño grande, en la parte superior. Y en la parte inferior el día, mes y año.



Figura 128. Reloj

#### 4.5.2.3.10 AVISO ERROR TARJETA

---

Cuando el sistema detecta un error de conexión con la tarjeta SD *ZigBee* [Figura 129] muestra el siguiente mensaje de aviso:



Figura 129. Aviso error tarjeta

El protocolo a seguir para asegurarse del buen comportamiento de la tarjeta, es el siguiente:

- Extraer la tarjeta SD
- Volver a Introducir la tarjeta SD
- Pulsar el botón 'aceptar'
- Esperar unos 2 segundos

Si la tarjeta tiene un funcionamiento normal, el mensaje desaparece y se puede volver a utilizar la aplicación.

En el caso de que el usuario quiera seguir utilizando la aplicación, aún con la tarjeta en mal funcionamiento, debe pulsar el botón cancelar.

#### 4.5.2.3.11 NOTAS TÉCNICAS Y RECOMENDACIONES

---

##### 4.5.2.3.11.1 ALMACENAMIENTO DE DATOS

---

Los datos con los que trabaja el sistema se encuentran almacenados en la base de datos *BBDDescolaEstiu*, la cual está cifrada para que no se pueda

acceder desde fuera de la aplicación. Todas las acciones que se realizan sobre los niños quedan reflejadas en la base de datos.

#### 4.5.2.3.11.2 SINCRONIZACIÓN DE DATOS INICIAL Y DESDE LA OPCIÓN DE MENÚ (BOTÓN 'SINCRONIZAR')

---

Tanto en el momento en que el usuario se autentica en la aplicación, como cuando el usuario selecciona desde el menú principal la opción 'Sincronizar' el sistema procederá con la sincronización selectiva de datos contra el servidor que almacena la base de datos *BBDDescolaEstiu*. La sincronización de datos va a implicar que el dispositivo tenga que conectarse vía Wi-Fi con el servidor, por lo que si el dispositivo no se haya conectado vía Wi-Fi, procederá a hacerlo. El dispositivo mostrará por pantalla el mensaje. "Conectando a la Wi-Fi. Espere por favor...". Si la conexión Wi-Fi se produce el sistema muestra por pantalla: "Buscando programas en BBDD...". Si bien el usuario (monitor) es responsable de más de un grupo de programas que no han finalizado en dicho momento, el sistema muestra el listado de los programas, y deberá de seleccionar uno.

Una vez seleccione el programa con el que desea sincronizar los datos, si en el dispositivo se han autenticado otros usuarios con anterioridad, el sistema mostrará por pantalla el mensaje: "¿Desea sincronizar únicamente los datos del programa correspondientes a sus grupos o también los de grupos de monitores autenticados anteriormente?". Donde el usuario podrá seleccionar las opciones "Mis grupos" y "Todos".

Si el usuario selecciona la opción 'Mis grupos', el sistema procederá a la sincronización de los datos completos de los alumnos de los grupos de los que el monitor es responsable, dentro del programa que el monitor había seleccionado.

Si el usuario selecciona la opción 'Todos', no sólo se sincronizarán los datos completos de los alumnos de los grupos de los que es responsable el monitor que accedió a la aplicación, sino de los grupos de los que son responsables todos los monitores (los que se autenticaron en el dispositivo anteriormente).

La información de alumnos del resto de grupos del programa se sincronizará, pero dicha información será reducida, que se trata de:

- Nombre, apellidos, Grupo al que pertenece.

#### 4.5.2.3.11.3 RECOMENDACIONES AHORRO BATERÍA

---

- La duración de la batería es de aproximadamente 10 horas, por lo que se recomienda no usar el radio de seguridad salvo para aquellas ocasiones en que sea necesario, ya que la lectura de la señal de radio frecuencia supone un gasto energético que debe ser correctamente utilizado.
- Cuando el sistema detecta que no se está utilizando durante un minuto, baja al mínimo el brillo de la pantalla. Y tras otro minuto de inactividad el sistema entra en un segundo estado de ahorro energético:
  - Suspensión la PDA, si el radio de seguridad está inactivo
  - Apagado total de la pantalla, si el radio de seguridad está activo
- Se debe cargar la batería de la PDA después de cada uso

#### 4.5.2.3.11.4 RECOMENDACIONES MODO DE USO

---

- Detección de una pulsera individual:
  - Es útil en el caso de entrada y salida a recintos o autobuses, donde los niños han de ir en fila india, y resulta muy interesante detectar su pulsera a medida que van entrando/saliendo.
  - En la llegada, ya que generalmente suele haber un intervalo corto de tiempo entre la llegada de los niños, pero suficiente para poder realizar esta detección por umbral.
- Paso de lista general



- Es interesante para aquellos casos en los que se realiza un traslado a pie desde una zona a otra. De modo que se debe realizar un paso de lista tanto al salir, como al llegar al destino, confirmando en ambos casos que todos los niños se encuentran dentro del radio de seguridad.

## 4.6 DISCUSIÓN II

En este segundo apartado de discusión, vamos a comprobar los resultados obtenidos tras las mejoras realizadas en la aplicación, para valorarlas y poder seguir marcando las líneas de investigación.

### 4.6.1 NUEVO DISEÑO DE PULSERAS

Se realiza un nuevo diseño de pulseras [Figura 130], buscando un mejor diseño y funcionamiento. Las nuevas pulseras han pasado todas las pruebas necesarias para el mercado CE. Cumplen la directiva europea de radiotelecomunicación 1999/5/CE [82]. Para cumplir esta directiva, se cumplen las normativas siguientes:

- ETSI EN 301 489-17 V1.3.2 (2008-04)
- ETSI EN 301 489-1 V1.8.1 (2008-04)

Además cumple la normativa de seguridad eléctrica UNE EN 60950 [78] y se ha comprobado el funcionamiento para temperaturas entre 0 y 50 °C y para una humedad del 95%.

Se realizaron diversas pruebas de estancaneidad, para comprobar y validar su uso en agua y finalmente los problemas detectados fueron solucionados mediante una junta tórica en la carcasa de la pulsera.



Figura 130. Imagen del interior de la pulsera

### 4.6.2 MEJORAS A LA FUNCIONALIDAD

Como valoración de la puesta en marcha del proyecto en la Escola d'Estiu 2009, debemos comentar fundamentalmente los dos apartados principales del mismo:

- Por una parte, en cuanto al hardware, destacamos las mejoras introducidas en el diseño del dispositivo y el aumento de las capacidades del mismo. En las pruebas realizadas, destacamos el comportamiento del mismo frente a la casuística que debe soportar el dispositivo en una jornada de la Escola d'Estiu.
- En cuanto al avance realizado en el software, debemos comentar que nuestras expectativas quedan totalmente satisfechas y que este es el rumbo que debemos seguir para consolidar este proyecto en la Escola d'Estiu durante los próximos año. Se ha conseguido desarrollar un software intuitivo a la vez que eficaz para gestionar los recursos necesarios para poder ofrecer al usuario final un valor añadido que consideramos excepcional dentro del ámbito en el que nos encontramos.

### 4.6.3 REPERCUSIÓN PRUEBAS PILOTO

En la Escola d'Estiu del año 2009 se realizan las pruebas de la segunda versión de programa Escola Mobile [Figura 131].



Figura 131. Logotipo de la aplicación

Se realiza una presentación institucional en la Universidad Politécnica de Valencia y durante el mes de pruebas la aplicación recibe una gran acogida

e interés, tanto desde el mundo empresarial como de los medios de comunicación.

Recibimos la visita de varios canales, de radio y televisión, de difusión nacional y autonómica.

---

## **CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES GENERALES**

---

*En este capítulo se recopilan y se resumen las conclusiones generales del presente proyecto.*



## 5.1 REVISIÓN DE OBJETIVOS

En la siguiente tabla se muestran los objetivos marcados al principio de este documento, y el grado de éxito obtenido, para posteriormente detallar uno a uno los puntos citados.

Objetivos	Fase I	Fase II
<b>LOCALIZACIÓN EN RECINTOS ABIERTOS</b>	X	
<b>REALIZACIÓN DE UN ESTUDIO DEL ARTE</b>	X	
<b>IDENTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES DE LA ESCOLA D'ESTIU</b>	X	
<b>VALIDACIÓN DE LA COMUNICACIÓN ZIGBEE</b>	X	
<b>EVALUACIÓN ESCALABILIDAD</b>	Solo hasta 14 niños	X
<b>CREACIÓN BASE DE DATOS</b>	X	
<b>FUNCIONALIDAD CONTROL INDIVIDUAL</b>	3-4 segundos	X
<b>FUNCIONALIDAD CONTROL LISTAS</b>	X	
<b>RANGO DISTANCIAS</b>	Hasta 10 metros	X

Tabla 23. Tabla resumen de objetivos

### **5.1.1 DESARROLLAR UNA APLICACIÓN, DE BAJO COSTE Y BAJO CONSUMO, QUE PERMITA LA LOCALIZACIÓN DE PERSONAS EN RECINTOS EXTERIORES**

El objetivo principal del proyecto era la creación de una herramienta que permitiera la localización y gestión de los datos personales de los niños que participan en las actividades de la Escola d'Estiu. Durante los meses de julio de 2008 y 2009 se realizaron una serie de pruebas piloto durante el funcionamiento de la Escola d'Estiu, que facilitaba los siguientes servicios a los usuarios:

- Búsqueda sencilla de los datos personales y asistenciales de los niños.
- Gestión de las llegadas y salidas de los niños, y comprobación de las personas autorizadas a recogerlos.
- Localización de los niños en un entorno próximo al monitor al finalizar las actividades.
- Identificación de los niños simplemente con la aproximación de la PDA a la pulsera.
- Creación de un LOG de funcionamiento del sistema para conocer el uso de la aplicación realizada por el monitor.
- Registro de incidencias ocurridas en la aplicación durante el uso del programa.

Con las pruebas realizadas, los resultados fueron totalmente satisfactorios. Los monitores de la Escola d'Estiu han validado la viabilidad de la aplicación desarrollada, así como su funcionalidad. Por lo tanto podemos asegurar que el principal objetivo que nos marcamos al comienzo de este proyecto queda totalmente satisfecho.



### **5.1.2 IDENTIFICAR UNA ARQUITECTURA DE CAPAS DE LA SOLUCIÓN A DESARROLLAR**

Debido a la complejidad del sistema que se pretende desarrollar, uno de los puntos principales es identificar la arquitectura de capas del sistema completo, para poder realizar las diversas ampliaciones al sistema sin que ello suponga tener que volver a diseñar el sistema por completo. Las capas identificadas han sido tres, estando todas ellas interrelacionadas:

- Capa de hardware
- Capa de información de localización e identificación
- Capa de herramientas de gestión

Esta definición de capas se ha realizado de forma correcta ya que ha permitido realizar modificaciones de modo independiente en función de las necesidades aparecidas, sin que ello supusiera tener que rehacer el resto del sistema.

Gracias a esa arquitectura de capas se han podido ir realizando las modificaciones que se han considerado oportunas para la mejora de la aplicación, tanto en la primera como en la segunda fase del proyecto.

Además esta arquitectura nos abre las posibilidades para seguir realizando mejoras en el proyecto, o poder plantear la posibilidad de migrar a otro tipo de sistemas o dispositivos, en gran medida influenciados por el avance de las nuevas tecnologías y la gran cantidad de dispositivos que nutren el mercado día a día.

Quizás incluso haya que replantearse desde el inicio el trabajo, y aún así este método de trabajo nos beneficiaría a la hora de migrar a otros sistemas.

### **5.1.3 IDENTIFICAR EL MÉTODO DE TRABAJO DE LOS MONITORES Y LAS AYUDAS QUE EL SISTEMA DEBE OFRECER**

Para conseguir que un sistema se ajuste a las necesidades de los usuarios es necesario detallar las especificaciones de modo que se puedan estructurar de la forma más clara y concreta.

Por ello uno de los objetivos de este proyecto era conocer de forma directa el método de trabajo que utilizan los monitores de la Escola d'Estiu, ya que ellos van a ser los usuarios finales del sistema a desarrollar. Se puede considerar que este objetivo se ha cumplido, ya que se ha podido realizar una pequeña prueba piloto en la que los monitores han validado las funcionalidades del sistema, así como la sencillez en la búsqueda de información.

En este apartado debemos resaltar la experiencia que acreditamos en el conocimiento de la Escola d'Estiu, más de diez años participando en los diversos estamentos de la misma.

Esto nos ha permitido realizar avances durante los períodos de tiempo en los que la Escola d'Estiu no desarrolla actividad directa con los niños y niñas en sus actividades en los períodos establecidos.

La estructura de trabajo piramidal en la Escola d'Estiu, su buena gestión y dirección ha facilitado en gran medida la creación de las estructuras necesarias para la programación de la aplicación. Los procesos a llevar a cabo por los monitores están muy bien definidos y son muy claros, por lo que el resultado de la aplicación, es un resultado sencillo, con una interfaz amigable y fácil de manejar.

### **5.1.4 REALIZAR UN ESTUDIO DEL ARTE DE LOS CASOS SIMILARES, Y ELEGIR LA TECNOLOGÍA ADECUADA.**

Antes de comenzar a desarrollar un proyecto es conveniente realizar un estudio sobre las diferentes soluciones que se han planteado anteriormente ante problemas similares, y analizar sus características y puntos de mejora.

En este caso, después de haber realizado un profundo análisis de las diversas tecnologías que podrían aportar algo a este proyecto, comprobar las características que ofrece cada una de ellas (RFID tradicional y RFID basado en WLAN, GPS, GSM/GPRS, IDE, SIG, GNSS) se optó por utilizar tecnología *ZigBee* para la comunicación con los dispositivos de localización, debido a que se aproximaba más a las necesidades de la solución planteada:

- Rango de Cobertura: 30m - 70m
- Latencia: 30 ms
- Complejidad: Simple
- Duración baterías: 2 años
- Coste reducido

Además de aprovechar muchas de las características y ventajas de las tecnologías antes mencionadas.

### **5.1.5 CREAR UNA BASE DE DATOS QUE SE AJUSTE A LAS NECESIDADES DE LA ESCOLA D'ESTIU EN LA UPV**

Otro de los objetivos era crear una base de datos que permitiera gestionar los datos de los niños y monitores de una manera ordenada y eficaz a la hora de realizar las búsquedas durante el uso del sistema.

La definición de la base de datos se realizó tomando como punto de partida la base de datos con la que se trabaja en la Escola d'Estiu. De este modo se realizó un ajuste en la base de datos para integrar los datos relativos al funcionamiento de las actividades.

Quizás este sea uno de los puntos donde la Escola d'Estiu tenga que realizar una mejora urgente, ya que el sistema con el que trabajan es algo obsoleto y rudimentario, y para posteriores actualizaciones o mejoras de esto u otras aplicaciones podrían existir problemas de sincronización de datos.

### **5.1.6 VALIDACIÓN DE LA CORRECTA COMUNICACIÓN ENTRE LAS PULSERAS DE LOCALIZACIÓN Y LA TARJETA SDIO/ZIGBEE, Y EVALUACIÓN DE LAS CAPACIDADES TÉCNICAS**

Durante el desarrollo de la aplicación se validó la correcta comunicación entre las pulseras de localización y la tarjeta SDIO/*ZigBee*, que habían sido desarrolladas para esta fase. De este modo, las pruebas realizadas sirvieron para comprobar que la tarjeta recibía perfectamente las tramas de las pulseras que emitían señal, así como que la potencia recibida era mayor en las pulseras cercanas a la tarjeta.

De esta manera, se comprobó también el correcto funcionamiento del sistema en el caso de la distinción de la pulsera situada a menos de diez centímetros de la PDA respecto del resto.

Además se realizaron las pruebas de escalabilidad y rango de distancia, que permitieron conocer las posibilidades que ofrece el sistema, y los puntos a mejorar en las versiones futuras.

## 5.2 ESPECIFICACIÓN DEL TRABAJO DESARROLLADO

Como en todos los grandes proyectos, y dada la complejidad de los mismos, en el desarrollo del trabajo siempre participan varias personas.

En este caso cabe destacar la multidisciplinariedad del equipo de trabajo que ha participado en el proyecto, recogiendo diversas áreas del conocimiento y la ingeniería, como son las telecomunicaciones, la informática y por supuesto la ingeniería cartográfica.

En este apartado se va a proceder a especificar cuál ha sido la aportación del autor en cada uno de los apartados o áreas más importantes en los que se dividen este proyecto. Para ello se adjunta una tabla en la que se apunta el módulo o apartado desarrollado y el nivel de aportación e implicación en el mismo.

Evidentemente, la no participación directa en el desarrollo de alguna de las partes del proyecto no implica el desconocimiento de la misma, ya que el trabajo se ha desarrollado siempre en equipo.

Por supuesto no vamos a detallar una a una todas las fases, pero sí que queremos mostrar aquellas que consideramos más relevantes o más importantes a la hora de gestar el presente proyecto.

Por último simplemente destacar, que en las últimas pruebas realizadas con los dispositivos los resultados fueron ampliamente satisfactorios, después de las modificaciones oportunas tras las pruebas iniciales y que actualmente el proyecto se encuentra estancado por falta de financiación.

<b>Fase del Proyecto</b>	<b>Aportación</b>
<b>DISEÑO DE PULSERAS</b>	Medio
<b>EVALUACIÓN DE PULSERAS</b>	Alto
<b>DISEÑO ANTENA PDA</b>	Ninguno
<b>TESTING ANTENA PDA</b>	Medio
<b>DISEÑO DRIVER</b>	Bajo
<b>EVALUACIÓN DRIVER</b>	Medio
<b>EVALUACIÓN ESCALABILIDAD</b>	Alto
<b>EVALUACIÓN RANGO DE SEGURIDAD</b>	Alto
<b>DISEÑO APLICACIÓN SOFTWARE</b>	Alto
<b>IMPLEMENTACIÓN APLICACIÓN SOFTWARE</b>	Alto

Tabla 24. Especificación del trabajo desarrollado por el autor

## 5.3 TRABAJO FUTURO

El proyecto no se ha podido finalizar en toda su extensión debido a la falta de fondos económicos que lo sostengan. Pese a ello se ha seguido trabajando en la definición de unas líneas de trabajo, para poder retomar el proyecto esperamos que en un futuro no muy lejano.

El problema de estancarse y quedarse parado en un proyecto de esta índole, viene definido por el avance de las tecnologías con las que se trabajan, tanto de software como de hardware.

Por una parte habría que distinguir entre funcionalidades pendientes de acabar en esta parte del proyecto y por otra pensar en nuevas líneas de desarrollo.

### 5.3.1 FUNCIONALIDADES

Además de todas las desarrolladas y tras las experiencias desarrolladas, entendemos que sería conveniente poder disponer de algunas más.

#### 5.3.1.1 MÓDULO DE COMUNICACIÓN WI-FI

Este módulo, que utilizaría tecnología IEEE 802.11/Wi-Fi, se encargaría de realizar la comunicación de las PDAs y las balizas con el Servidor de Información, así como para la comunicación entre las distintas PDAs de los monitores y de los responsables [84].

De esta manera podríamos establecer una red de comunicación vía Wi-Fi en casi todos los ámbitos de acción de la Escola d'Estiu.

#### 5.3.1.2 MÓDULO DE ALMACENAMIENTO PERSISTENTE DE DATOS EN SERVIDOR DE INFORMACIÓN.

En la próxima versión, los datos pertenecientes a los niños, así como los correspondientes al funcionamiento de la Escola d'Estiu permanecerían guardados en el Servidor de Información.

La gestión de la aplicación se realizaría mediante consultas al Servidor, lo que permitiría una correcta sincronización de la información entre las distintas PDAs [85].

#### **5.3.1.3 MÓDULO DE AVISO A RESPONSABLE**

---

El apartado aviso a responsable consistiría en el envío de mensajes SMS por parte de los monitores al responsable. Para ello se dispondría de terminales con telefonía para poder realizar esta tarea.

Este proceso en la Escola d'Estiu viene marcado como de vital interés, ya que una correcta comunicación entre monitores y responsables es fundamental para el normal desarrollo de las actividades.

#### **5.3.1.4 MÓDULO DE LOCALIZACIÓN DE NIÑOS CON BALIZAS DE LOCALIZACIÓN.**

---

Las balizas de localización se encargarían de delimitar el área de funcionamiento de la Escola d'Estiu.

Su funcionamiento sería el siguiente: Reciben la señal de las pulseras de localización, y estiman la posición de los niños y monitores. Adicionalmente, actuarán como pasarela de comunicación con el Servidor de Información, y entre dispositivos de monitorización [86].

#### **5.3.1.5 MÓDULO DE LOCALIZACIÓN MEDIANTE WI-FI / GPS / GNSS**

---

La siguiente fase del proyecto que se estaba abordando era la generación de una aplicación de escritorio que controlara y sirviera de servidor para todos los dispositivos móviles.

En esa aplicación se estaba desarrollando una aplicación para posicionar y localizar geográficamente a todos y cada uno de los dispositivos y en consecuencia de los monitores y niños y niñas de la Escola d'Estiu, ya sea en espacio abiertos o en interiores.

Actualmente este tipo de servicios comienzan a desarrollarse [87], así como su integración en los sistemas de información geográfica [10].



Consideramos que el desarrollo futuro de esta parte del trabajo, podrá dotar a la Escola d'Estiu de un nivel servicios muy avanzado, repercutiendo directamente en la calidad del servicio que puede ofrecer a los usuarios.

### **5.3.2 NUEVAS LÍNEAS DE DESARROLLO**

Conforme ha ido avanzando el desarrollo del proyecto, se ha detectado que quizás habría que plantearse desde otro punto de vista la migración a otro tipo de software y hardware.

Este pensamiento viene derivado de la velocidad a la que se desplazan las tecnologías, ya que nuestro trabajo no debe quedar hipotecado a un tipo de software o hardware en concreto, ya que esto dificultaría en gran medida el prolongar el uso de la aplicación en un período de tiempo prolongado.

#### **5.3.2.1 HARDWARE**

---

Desde que comenzó el proyecto y nos definimos por un tipo de tecnología en concreto, movidos en aquel entonces por las características existentes de cada una de las tecnologías, han evolucionado en gran medida y para poder realizar una migración, quizás habría que plantearse de nuevo las hipótesis iniciales.

Al decantarnos por la tecnología *ZigBee* y su desarrollo sobre una tarjeta SD, limitamos en gran medida el tipo de dispositivo a emplear.

No debemos olvidar que cuando comenzamos el proyecto los dispositivos que más se ajustaban a nuestras necesidades eran las PDA, aunque ya por aquel entonces se empezaba a intuir el brutal desarrollo que iban a ofrecer los teléfonos móviles.

Si hoy en día tuviéramos que empezar desde cero el proyecto, estoy convencido que variarían en gran medida nuestras premisas iniciales, incluso podríamos llegar a plantear otro tipo de tecnología inalámbrica diferente.

Motivos de duración de baterías, de alcance de señal o potencia, quedarían prácticamente descartados y nos centraríamos en otros aspectos sin duda.

Hemos realizado pruebas con gran cantidad de dispositivos, diferentes modelos de PDA, Tablet PC, ultraportátiles, y sin embargo no encontramos uno que se ajustara a la perfección a nuestras necesidades. Finalmente nos decantamos por las PDA, donde los criterios de manejabilidad y comodidad para el monitor eran primordiales.

Hoy en día, sin duda alguna el problema del hardware sería quizás el menor de los problemas ya que el uso extendido de los dispositivos móviles favorecería la adquisición de cualquier dispositivo que necesitáramos.

Lo que si podríamos afirmar con total rotundidad es que no repetiríamos elección. No dando por incorrecta la realizada hace unos años, sino por inválida para la época en la que nos encontramos.

---

#### **5.3.2.2 SOFTWARE**

---

Otro de los aspectos que quizás más condicionan el desarrollo de un proyecto, sea la elección de un lenguaje de programación adecuado para el mismo.

En su momento justificamos la elección del lenguaje de programación escogido para realizar la programación de la aplicación, y queda contrastado que fue un acierto vistos los resultados obtenidos.

Sin embargo, a la hora de pensar en un futuro y en un desarrollo más global de la aplicación, sería conveniente replantear ciertos aspectos para favorecer esa futura y remodelada mejora.

Por un lado sería conveniente pasar a desarrollar en un lenguaje libre, es decir, no propietario, ya que siempre tendrás más posibilidades de implantación en un mercado más amplio.

Realizando un repaso rápido de lo que encontramos actualmente en el mercado, sin lugar a dudas, la opción escogida sería trabajar sobre la plataforma Android, tan extendida en los últimos tiempos.

Esto supondría un gran giro en el trabajo desarrollado hasta el momento, pero sin duda nos abriría nuevas posibilidades de implantación, así como de futuros desarrollos.



---

## **CAPÍTULO 6. DIVULGACIÓN DEL CONOCIMIENTO**

---

*Se presentan, fruto de los estudios e investigaciones llevados a cabo en el Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría, las publicaciones y comunicaciones, realizados por el autor.*



**Oficina española de patentes y marcas. Junio 2009**

*“Equipo electrónico para la identificación, control y seguridad de grupos de individuos en movilidad”.*

Número de solicitud: P200901447 (18.06.2009)

Número de publicación: ES2354549 A1 (16.03.2011)

Otras publicaciones: ES2354549 B1 (23.02.2012)

Clasificación Internacional: G07C9/00 (2006.01)

Clasificación Europea: G07C9/00B10

**Semana Geomática Internacional. Marzo 2009**

*“Estudio y análisis de receptores monofrecuencia diferencial de bajo coste para la obtención de precisiones submétricas”.*

I. Quintanilla García, Á. Gallego Salguero, J. Irimia Cervera, J.A. Pérez Ferre

**Semana Geomática Internacional. Marzo 2009**

*“GPS vs EGNOS. Análisis comparativo de precisiones con diferentes receptores”.*

J. Irimia Cervera, I. Quintanilla García, J. L. Berné Valero, P. Fortuny López

**Semana Geomática Internacional. Marzo 2009**

*“Aplicabilidad de los diferentes sistemas de posicionamiento en el inventariado de elementos mediante la integración de dispositivos móviles y sistemas de información geográfica”.*

I. Quintanilla García, J. Irimia Cervera, A. Gallego Salguero

**Mapping Interactivo. Diciembre 2008**

*“Proyecto AGRINOVA: Desarrollo de un visor con MapServer-Kamap”*

I. Quintanilla, J. Irimia, C. Perpiñá, H. Rojas, E. Peñalvo, D. Alfonso, N. Brines

**IV Jornadas gvSIG. Diciembre 2008**

*“Gestión de los LIC (Lugar de Interés Comunitario) en los Parques Naturales de la Comunidad Valenciana mediante gvSIG Mobile”.*

J. Irimia, I. Quintanilla, Á. Enguix, J. L. Berné, Á. Gallego

**IV Jornadas gvSIG. Diciembre 2008**

*“Gestión de parcelas en tiempo real mediante dispositivos móviles en el Parc Natural de la Marjal de Pegó-Oliva”.*

J. Irimia Cervera, I. Quintanilla García, A. Enguix Egea, A. Gallego Salguero

**Conferencia ESRI España. Octubre 2008**

*“Análisis de los Sistemas de Posicionamiento/Navegación Global por Satélite (GPS/GNSS) aplicado al inventariado de elementos puntuales y superficiales en tiempo real. Implementación con ArcPad”.*

Javier Irimia Cervera, Israel Quintanilla García

**Conferencia ESRI España. Octubre 2008**

*“Sistema de localización para dispositivos móviles en la Universidad Politécnica de Valencia”.*

Javier Irimia Cervera, Israel Quintanilla García



**XXI International Geodetic Students Meeting. IGSM. Mayo 2008**

*“GPS vs EGNOS: Accuracy study between single frequency GPS receiver and EGNOS receiver”.*

J. Irimia Cervera, I. Quintanilla García, J. L. Berné Valero, P. Fortuny López

**XXI International Geodetic Students Meeting. IGSM. Mayo 2008**

*“GPS vs GNSS. Introduction to EGNOS and Galileo”.*

J. Irimia Cervera, I. Quintanilla García

**6ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica. Febrero 2008**

*“Comparativa de GPS y EGNOS: Análisis de precisiones entre receptores GPS monofrecuencia y receptores con sistema EGNOS”.*

I. Quintanilla García, J. L. Berné Valero, P. Fortuny López, J. Irimia Cervera

**IX Congreso Nacional TOP-CART. Febrero 2008**

*“Análisis comparativo entre los sistemas de navegación global por satélite (GNSS) y los sistemas clásicos de posicionamiento por satélite (GPS)”*

I. Quintanilla García, J. L. Berné Valero, J. Irimia Cervera, P. Fortuny López

**IX Congreso Nacional TOP-CART. Febrero 2008**

*“Análisis de los Sistemas de Posicionamiento / Navegación Global por Satélite (GPS / GNSS) aplicado al inventariado de elementos puntuales y superficiales en tiempo real en función de tolerancias y precisiones requeridas. Integración en Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Dispositivos Móviles”.*

J. Irimia Cervera, I. Quintanilla García, J. L. Berné Valero, A. Gallego Salguero

**Congress on Geomatics Education in Europe. EEGECS. Noviembre 2007**

*“Go to the European Higher Education Area: New Teaching Methodologies”*

I. Quintanilla García, J. L. Berné Valero, A. Gallego Salguero, J. Irimia Cervera

---

## **CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA**

---



- [1] H. A. Karimi y A. Hammad, *Location-Based Services, Telegeoinformatics*, 2004.
  
- [2] J. H. Schiller y A. Voisard, *Location-based services*, Morgan Kaufmann Publishers, 2004.
  
- [3] S. A. Weis, «RFID (Radio Frequency Identification): Principles and Applications,» MIT Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory, Boston, 2006.
  
- [4] J. M. Romero López, «GPRS: ¿Una tecnología de transmisión?,» *Antenas de Telecomunicaciones*, 2002.
  
- [5] L. Harte, B. Bramley y M. Davis, *Introduction to GSM*, ALTHOS, 2012.
  
- [6] B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger y J. Collins, *Global Positioning System: Theory and Practice*, New York: Springer Verlag., 2001.
  
- [7] P. Mulassano, F. DAVIS y F. Clomb, «European Projects for Innovative GNSS-Related Applications,» *GPS Solutions*, vol. 7, pp. 268-270, 2007.
  
- [8] D. Zou, Z. Deng, L. Xu y W. Ren, «Seamless LBS based on the Integration of WSN and GPS,» de *IEEE Computer Society*, 2008.
  
- [9] B. Sadoun y O. Al-Bayari, «On the inclusion of geographic information systems (GIS) in global navigation satellite systems (GNSS),» *Internacional Journal of Communications Systems*, pp. 385-396, 2007.

- [10] B. Sadoun y O. Al-Bayari, «LBS and GIS Technology Combination and Applications,» *IEEE*, 2006.
- [11] J. Ringert, E. Wasle, J. Hanley, M. Schettino y S. Scarda, «Bringing Galileo into LBS Market – The AGILE Project,» de *IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, 2006.
- [12] F. Chen, C. Yang, W. Yu, X. Le y J. Yang, «Research on Mobile GIS based on LBS,» *IEEE. This work was supported by the project G2000077906 of the China 973 program.*, 2005.
- [13] E. Kaplan y C. Hegarty, *Understanding GPS: Principles and Applications*, Artech House Press., 2005.
- [14] D. Williams y G. Christensen, *MOBILE POSITIONING & LOCATION MANAGEMENT. With GPS, Terrestrial Positioning, and Managing Location Information*, Mind Commerce Publishing, 2005.
- [15] RFID Magazine, «RFID Magazine,» Octubre 2014. [En línea]. Available: <http://www.rfidjournal.com/magazine>. [Último acceso: Mayo 2012].
- [16] T. S. Rappaport, *Wireless Communications - Principles and Practice*, Prentice Hall PTR, 1996.
- [17] J. Collins, «Lost and Found in Legoland,» *RFID Journal*, 2004.
- [18] L. Burkhalter, «Kindercity, enfants à puces,» *Nouvo. Nouvelles, tendances and technologies*, 2004.

- [19] A.-K. Chandra-Sekaran, G. Flaig, C. Kunze, W. Stork y K. D. Mueller-Glaser, «Efficient Resource Estimation During Mass Casualty Emergency Response Based on a Location Aware Disaster Aid Network,» *Computer Science*, vol. 4913, pp. 205-220, 2008.
- [20] K. Virrantaus, J. Markkula, A. Garmash y Y. Terziyan, «Developing GIS-Supported Location.,» de *Proc. of WGIS'2001 – First International Workshop on Web Geographical Information*, Kyoto, Japon, 2001.
- [21] O. G. C. (OGC), «OpenGIS Location Service (OpenLS) Implementation Specification: Core Services,» OGC 07-074, Mayo 2014. [En línea]. Available: <http://www.opengeospatial.org/standards/ols>. [Último acceso: Junio 2012].
- [22] N. Shiode, C. Li, M. Batty, P. Longley y D. Maguire, de *The impact and penetration of Location*, Telegeoinformatics, 2004, pp. 349-366.
- [23] F. Espinoza, P. Persson, A. Sandin, H. Nyström, E. Cacciatore y M. Bylund, «GeoNotes: Social and Navigational Aspects of Location-Based Information Systems,» de *Ubiquitous Computing*, Atlanta, Georgia, 2001.
- [24] K. Virrantaus, J. Markkula, A. Garmash y Y. Terziyan, «Developing GIS-Supported Location-,» de *Proc. of WGIS'2001 – First International Workshop on Web Geographical Information*, Kyoto, Japon, 2001.
- [25] T. Reichenbacher, *Mobile Cartography - Adaptive Visualisation of Geographic Information on Mobile Devices*, 2004.
- [26] B. A. Nardi, «Context and consciousness: activity theory and human-computer interaction,» *MIT Press*, 1996.

- [27] A. Kushwaha y V. Kushwaha, «Location Based Services using Android Mobile Operating System,» de *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 2011.
- [28] J. Irimia Cervera y I. Quitanilla García, «Sistema de localización para dispositivos móviles en la Universidad Politécnica de Valencia,» de *Conferencia ESRI España*, Madrid, 2008.
- [29] J. Irimia Cervera y I. Quintanilla García, «Análisis de los Sistemas de Posicionamiento/Navegación Global por Satélite (GPS/GNSS) aplicado al inventariado de elementos puntuales y superficiales en tiempo real. Implementación con ArcPad.,» de *Conferencia ESRI España*, Madrid, 2008.
- [30] J. Irimia Cervera, I. Quintanilla García, Á. Enguix Egea y A. Gallego Salguero, «Gestión de parcelas en tiempo real mediante dispositivos móviles en el Parc Natural de la Marjal de Pego-Oliva,» de *IV Jornadas gvSIG*, Valencia, 2008.
- [31] J. Irimia Cervera, I. Quintanilla García, Á. Enguix Egea, J. L. Berné Valero y A. Gallego Salguero, «Gestión de los LIC (Lugar de Interés Comunitario) en los Parques Naturales de la Comunidad Valenciana mediante gvSIG Mobile,» de *IV Jornadas gvSIG*, Valencia, 2008.
- [32] I. Quintanilla García, J. Irimia Cervera y A. Gallego Salguero, «Aplicabilidad de los diferentes sistemas de posicionamiento en el inventariado de elementos mediante la integración de dispositivos móviles y sistemas de información geográfica.,» de *Semana Geomática Internacional*, Barcelona, 2009.
- [33] VIA-T, «VIA-T,» Noviembre 2014. [En línea]. Available:



<http://www.viat.es/>. [Último acceso: Julio 2012].

- [34] Toll-Collect, «Toll Collect, service on the road,» Octubre 2014. [En línea]. Available: <http://www.toll-collect.de/en/home.html>. [Último acceso: Julio 2012].
- [35] GeoCaching, «GeoCachin Spain,» Octubre 2014. [En línea]. Available: <http://www.geocachingspain.com/>. [Último acceso: Julio 2012].
- [36] B. Schilit, N. Adams y R. Want, «Context-aware computing applications,» de *Proceedings of IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, Santa Cruz, California, 1994.
- [37] G. Abowd, A. Dey, P. Brown, N. Davies, M. Smith y P. Steggle, «Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness,» London, UK, Springer-Verlag, 1999, pp. 304-307.
- [38] G. Chen y D. Kotz, «A Survey of Context-Aware Mobile Computing Research,» *Dartmouth Computer Science Technical Report* , pp. TR2000-381, 2000.
- [39] A. Dey, «Understanding and Using Context,» *Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 5, nº 1, pp. 4-7, 2001.
- [40] A.-M. Nivala y L. Sarjakoski, «An Approach to Intelligent Maps: Context Awareness,» de *5th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, Udinese, Italia, 2003.
- [41] T. Reichenbacher, «Adaptive Methods for Mobile Cartography,» de *Proceedings of the 21st International Cartographic Conference ICC : Cartographic Renaissance*, Durban, Sudáfrica, 2003.

- [42] A.-M. Nivala y L. T. Sarjakoski, «Need for context-aware topographic maps in mobile devices,» de *Proceedings of ScanGIS*, Espoo, Finland, 2003.
- [43] J. E. Dobson y P. F. Ficher, «Geoslavery,» *IEEE Technology and Society Magazine*, pp. 47-52, 2003.
- [44] P. Longley, M. F. Goodchild, D. J. Maguire y D. W. Rhind, *Geographical Information Systems and Scienc*, John Wiley & Sons, Ltd., 2001.
- [45] M. Yubero Gómez, F. J. López Cachero y X. Rubio Campillo, «El uso de los SIG como herramienta de modelización geográfica en arqueología. El caso de estudio del poblamiento durante la prehistoria reciente en cuenca del río Ripoll,» de *V Jornadas de SIG Libre*, Girona, 2011.
- [46] M. Sainz de la Maza, «SIG y Modelización de Fauna Protegida,» de *Tecnologías Geográficas para el Desarrollo Sostenible*, Alcalá, 2000, pp. 352-366.
- [47] F. Alonso Sarria, «SIG aplicados al análisis y cartografía de riesgos climáticos,» de *Métodos y técnicas de análisis de riesgos climáticos. Asociación española de climatología*, Murcia, 2004.
- [48] J. Irimia Cervera y J. M. Biosca Taronger, «Emplazamiento de un albergue en la Canal de Navarrés,» UPV, Valencia, 2008.
- [49] A. El-Rabbany, *Introduction to GPS: The Global Positioning System*, London: Artech House, 2002.
- [50] B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger y E. Wasle, *GNSS - Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*,

SpringerWienNewYork, 2007.

- [51] P. Misra y P. Enge, *Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance*, Ganga Jamuna-Press, 2010.
- [52] L. Jacobson, *GNSS Markets and Applications (GNSS Technology and Applications)*, Boston: Artech House, 2007.
- [53] J. Irimia Cervera y I. Quintanilla García, «GPS vs GNSS. Introduction to EGNOS and Galileo,» de *XXI International Geodetic Students Meeting*, Valencia, 2008.
- [54] A. Nelson, *Galileo's World*, p. 34, 2000.
- [55] A. Sobrino, «Redes de comunicación Inalámbrica de última generación,» de *Servicios Móviles 3G*, Salamanca, 2003.
- [56] L. Llopis, «GPRS. Aplicaciones,» *Telefónica Móviles España*, 2004.
- [57] Intermec, «El ABC del RFID,» *RFID-Spain - White papers*, 2006.
- [58] D. C. Wyld, «RFID: The Right Frequency for Government,» IBM Center for The Business of Government, Louisiana, 2005.
- [59] «Wi-Fi Alliance,» Noviembre 2014. [En línea]. Available: <http://www.wi-fi.org/>. [Último acceso: Abril 2012].
- [60] H. Zimmermann, «OSI Reference Model — The ISO Model of Architecture for Open Systems Interconnection,» *IEEE Transactions on Communications*, vol. 28, nº 4, pp. 425-432, Abril 1980.

- [61] «IEEE 802.11 WIRELESS LOCAL AREA NETWORKS,» Noviembre 2014. [En línea]. Available: <http://www.ieee802.org/11>. [Último acceso: Febrero 2012].
- [62] S. Outemzabet y C. Nerguizian, «Accuracy Enhancement of an Indoor ANN-based Fingerprinting Location System,» de *Vehicular Technology Conference-Spring*, Marina Bay, Singapur, 2008.
- [63] A. Roxin, J. Gaber, M. Wack y A. Nait-Sidi-Moh, «Survey of Wireless Geolocation Techniques,» de *Globecom Workshops*, 2007.
- [64] C.-Y. Chong y S. Mori, «Hierarchical multi-target tracking and classification—Bayesian approach.,» de *Proceedings of the 1984 American Control Conference*, San Diego, EEUU, 1984.
- [65] P. Bahl y V. N. Padmanabhan, «RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System,» de *INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE*, Tel-Aviv, Israel, 2000.
- [66] «Ekahau,» Octubre 2014. [En línea]. Available: <http://www.ekahau.com/>. [Último acceso: Abril 2012].
- [67] J. Hightower, A. LaMarca y I. E. Smith, «Practical Lessons from Place Lab,» *IEEE Pervasive Computing magazine*, pp. 32-39, 2006.
- [68] Microsoft Corporation, «MSDN,» Octubre 2014. [En línea]. Available: <http://msdn.microsoft.com/es-es/default.aspx>. [Último acceso: Junio 2009].

- [69] R. Devis y R. Izquierdo, *Autopsia comparative de C#, Java Expo*, 2002.
- [70] M. Streeton y C. Stanfield, «ZigBee: the telemetry solution?,» de *The IEE Seminar on Telemetry and Telematics*, 2005.
- [71] Hewlett-Packard Development Company, L.P., «HP,» Octubre 2014. [En línea]. Available: <http://www.hp.com/country/es/es/welcome.html>. [Último acceso: Mayo 2009].
- [72] Fujitsu, «Fujitsu,» Mayo 2010. [En línea]. Available: <http://www.fujitsu.com/es/>. [Último acceso: Mayo 2010].
- [73] R. Grossmann, J. Blumenthal, F. Golasowski y D. Timmermann, «Localization in Zigbee-based Sensor Networks,» *University of Rostock, Institute of Applied Microelectronics and CE*, 2007.
- [74] N. Ibacache, Y. Godoy, P. Delgado y C. Bórquez, «Jaula de Faraday,» 2011.
- [75] E. Mendieta, «Destrucción electrónica con pulsos electromagnéticos,» Guayaquil (Ecuador), 2005.
- [76] Consejería de Cultura Educación y Universidades. Mallorca, «Innovation & Tourist International Seminar,» Octubre 2014. [En línea]. Available: <http://web.visitinnovation.com/index.php/noticias/actual/es>. [Último acceso: 06 2009].
- [77] Comisión Europea, «Directiva 1999/5/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de marzo, sobre equipos radioeléctricos y equipos terminales de telecomunicación y reconocimiento mutuo de su

conformidad,» 1999.

- [78] Asociación Española de Normalización y Certificación. AENOR, «Normativa de seguridad eléctrica UNE EN 60950,» Noviembre 2014. [En línea]. Available: <http://www.aenor.es/aenor/avisos/avisos/informacion.asp>. [Último acceso: Mayo 2012].
- [79] J. H. Schiller, *Mobile Communication*, Addison Wesley, 2003.
- [80] A. Goldsmith, *Wireless Communications*, Cambridge University Press, 2005.
- [81] K. W. Kolodziej y J. Hjelm, *Local Positioning Systems. LBS Applications and Services*, Taylor & Francis Group, 2006.
- [82] J. Werb y C. Lanzl, «Designing a positioning system for finding things and people indoors,» *IEEE Spectrum*, vol. 35, nº 9, pp. 71-78, 1998.
- [83] Gobierno de España. Ministerio de Fomento, «Consejo Superior Geográfico. Infraestructura de Datos Espaciales,» [En línea]. Available: <http://www.idee.es>. [Último acceso: 17 05 2012].
- [84] Generalitat Valenciana. Consellería de Infraestructures, territori i medi ambient, «Terrasit. IDE Comunidad Valenciana,» [En línea]. Available: <http://terrasit.gva.es/es/ver>. [Último acceso: 20 08 2012].
- [85] European Commission, «Inspire Geoportal. Enhancing acces to European spatial data,» [En línea]. Available: <http://www.inspire-geoportal.eu/>. [Último acceso: 03 06 2010].

- [86] U. S. Department of Homeland Security. United States Coast Guard, «Navigation Center. The Navigation Center of Excellence,» [En línea]. Available: <http://www.navcen.uscg.gov/?Do=constellationStatus>. [Último acceso: 24 08 2012].
- [87] Federal Space Agency. Rusia, «Information Analytical Centre,» [En línea]. Available: <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/en/GLONASS/>. [Último acceso: 24 08 2012].

