



DIEGO  
GARCÍA  
SÁNCHEZ

T  
E  
S  
I  
S  
  
D  
O  
C  
T  
O  
R  
A  
L  
  
A  
Ñ  
O

2019



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena

Campus  
de Excelencia  
Internacional

*CONTRIBUCIÓN AL DESARROLLO Y  
EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE  
SOLUCIONES Y SERVICIOS  
TELEMÁTICOS INNOVADORES*

*Programa de Doctorado  
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES*

*Autor: DIEGO GARCÍA SÁNCHEZ*

*Director: José Fernando Cerdán Cartagena*

*Co-Director: Juan Suardiaz Muro*

*Cartagena (2019)*





**CONFORMIDAD DE SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN DE DEPÓSITO DE  
TESIS DOCTORAL POR EL/LA DIRECTOR/A DE LA TESIS**

D/D<sup>a</sup>. \_\_José Fernando Cerdán Cartagena y D. Juan Suardiaz Muro, Director y codirector respectivamente de la Tesis doctoral “**Contribución al desarrollo y Evaluación experimental de soluciones y servicios telemáticos innovadores**”.

**INFORMAN:**

Que la referida Tesis Doctoral, ha sido realizada por D/D<sup>a</sup>. Diego García Sánchez\_\_\_\_\_, dentro del Programa de Doctorado \_\_TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES \_\_, dando conformidad para que sea presentada ante el Comité de Dirección de la Escuela Internacional de Doctorado para ser autorizado su depósito.

Informe positivo sobre el plan de investigación y documento de actividades del doctorando/a emitido por el Director/ Tutor (RAPI).

La rama de conocimiento en la que esta tesis ha sido desarrollada es:

- Ciencias
- Ciencias Sociales y Jurídicas
- Ingeniería y Arquitectura

En Cartagena, a \_17\_ de \_JUNIO\_\_\_\_\_ de \_2019\_\_

EL/LA DIRECTOR/A DE LA TESIS

CERDAN  
CARTAGENA  
JOSE FERNANDO  
Firmado digitalmente  
por CERDAN  
CARTAGENA JOSE  
Fecha: 2019.06.17  
11:20:06 +02'00'

Fdo.: J. Fernando Cerdán Cartagena

EL/LA CODIRECTOR/A DE LA TESIS

JUAN|  
SUARDIAZ  
|MURO  
Firmado digitalmente por  
JUAN|SUARDIAZ|  
MURO

Fdo.: Juan Suardiaz Muro

**COMITÉ DE DIRECCIÓN ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO**



**CONFORMIDAD DE DEPÓSITO DE TESIS DOCTORAL**  
**POR LA COMISIÓN ACADÉMICA DEL PROGRAMA**

D<sup>a</sup>. Sonia Busquier Sáez, Secretaria de la Comisión Académica del Programa Tecnologías Industriales.

**INFORMA:**

Que la Tesis Doctoral titulada, "Contribución al desarrollo y Evaluación experimental de soluciones y servicios telemáticos innovadores", ha sido realizada, dentro del mencionado Programa de Doctorado, por D. Diego García Sánchez, bajo la dirección y supervisión del Dr. José Fernando Cerdán Cartagena y del Dr. Juan Suardíaz Muro

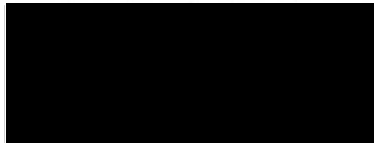
En reunión de la Comisión Académica, visto que en la misma se acreditan los indicios de calidad correspondientes y la autorización del Director de la misma, se acordó dar la conformidad, con la finalidad de que sea autorizado su depósito por el Comité de Dirección de la Escuela Internacional de Doctorado.

La Rama de conocimiento por la que esta tesis ha sido desarrollada es:

- Ciencias
- Ciencias Sociales y Jurídicas
- Ingeniería y Arquitectura

En Cartagena, a 17 de junio de 2019

LA SECRETARIA DE LA COMISIÓN ACADÉMICA



Fdo: ~~Sonia~~ Busquier Sáez

**COMITÉ DE DIRECCIÓN ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO**

## RESUMEN

En esta tesis se abordan algunos problemas relacionados con la revolución digital, que ha desencadenado lo que conocemos como transformación digital de las empresas y en última instancia la industria 4.0. La revolución digital ha llevado a las empresas a comprender la importancia de innovar para que sus negocios no pasen al olvido. Mejorar las plataformas de servicio y adaptarse a las nuevas necesidades de los usuarios ya no es una opción, de hecho, se ha convertido en algo crucial para mantenerse competitivo en el mercado que es cada vez más virtual y menos físico.

La tecnología transforma rápidamente la comunicación entre los consumidores y las plataformas de negocio, ante la diversificación de los canales de comunicación y las nuevas expectativas de los clientes, quienes ahora tienen acceso a diferentes dispositivos e innovaciones. Esta tendencia ha provocado que las organizaciones reconozcan la experiencia del cliente como un diferenciador clave para conquistar al usuario moderno.

Actualmente, cada consumidor en promedio posee entre dos y tres dispositivos, y está permanentemente conectado creando una necesidad de disponibilidad, inmediatez y seguridad en los servicios que usan.

Todo ello impulsa la importancia de implementar soluciones de tecnología capaces de responder a estos desafíos. En esta tesis se aportan soluciones que permiten mejorar la conectividad de los dispositivos móviles en ausencia de cobertura, sin perder la capacidad de movilidad que poseen dentro en un alcance determinado para compartir contenido o enviar mensajes entre otras funcionalidades. Asimismo, se explora la capacidad de los últimos estándares de alta velocidad inalámbrica para priorizar la transmisión de tráfico IP multimedia en soluciones concretas profesionales, con aplicación a servicios de videovigilancia, seguridad o eventos en tiempo real.

En cuanto a servicios se aprovecha la ventaja comentada de usuarios con muchos dispositivos y siempre conectados para desarrollar una solución que nos permite entre otras cosas, prestar más atención a la diversidad y a la mejora del autoaprendizaje. La solución demuestra como los asistentes digitales personales (PDA) y los teléfonos inteligentes también pueden utilizarse como sistemas de respuesta para involucrar a los estudiantes y mejorar su rendimiento en el aula.

Finalmente, en esta tesis se aporta una solución que combina la experiencia de la transmisión de contenidos multimedia sobre IP y la solución anterior relacionada con los sistemas de respuesta. Se trata de una aplicación de servicios contextuales para su instalación en museos, salas de exposiciones entre otros escenarios en los que se requiera una difusión selectiva de contenidos en función de la localización geográfica dentro del recinto. Mediante la ejecución de una aplicación cliente en PDAs o smartphones los usuarios pueden obtener información sobre la localización en la que se encuentran en cada momento de forma dinámica. Una vez conocida la localización pueden acceder a contenidos multimedia asociados a los elementos existentes en las zonas geográficas que visitan mediante la interacción con un servidor de difusión de contenidos existente en el sistema y una infraestructura de red inalámbrica.

Todas las propuestas de esta tesis se enmarcan dentro del ámbito de la innovación, el cual a su vez se desarrolla parcialmente, ya que es término muy amplio con muchas connotaciones, en el primer capítulo introductorio.

## ABSTRACT

This thesis deals with some problems related to the digital revolution, which has triggered what we know as the digital transformation of companies and ultimately industry 4.0. The digital revolution has led companies to understand the importance of innovating so that their businesses are not forgotten. Improving service platforms and adapting to new user needs is no longer an option, in fact, it has become crucial to remain competitive in a market that is increasingly virtual and less physical.

Technology rapidly transforms communication between consumers and business platforms, in the face of diversified communication channels and new customer expectations, who now have access to different devices and innovations. This trend has caused organizations to recognize the customer experience as a key differentiator to conquer the modern user.

Currently, each consumer on average has between two and three devices, and is permanently connected creating a need for availability, immediacy and security in the services they use.

All of this drives the importance of implementing technology solutions capable of responding to these challenges. This thesis provides solutions that improve the connectivity of mobile devices in the absence of coverage, without losing the mobility capacity they have within a given range to share content or send messages among other features. It also explores the ability of the latest high-speed wireless standards to prioritize the transmission of multimedia IP traffic in specific professional solutions, with application to video surveillance services, security or events in real time.

As far as services are concerned, the aforementioned advantage of users with many devices and always connected is used to develop a solution that allows us, among other things, to pay more attention to diversity and the improvement of self-learning. The solution demonstrates how personal digital assistants (PDAs) and smartphones can also be used as feedback systems to engage students and improve their performance in the classroom.

Finally, this thesis provides a solution that combines the experience of transmitting multimedia content over IP and the previous solution related to response systems. It is an application of contextual services for its installation in museums, exhibition halls and other scenarios in which a selective diffusion of contents is required depending on the geographical location within the enclosure. Through the execution of a client application on PDAs or smartphones, users can dynamically obtain information about the location in which they are at any given moment. Once the location is known, they can access multimedia content associated with the existing elements in the geographical areas they visit by interacting with a broadcast server existing in the system and a wireless network infrastructure.

All the proposals of this thesis are framed within the field of innovation, which in turn is partially developed, as it is a very broad term with many connotations, in the first introductory chapter.



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena

## **TESIS DOCTORAL**

***CONTRIBUCIÓN AL DESARROLLO  
Y EVALUACIÓN EXPERIMENTAL  
DE SOLUCIONES Y  
SERVICIOS TELEMÁTICOS INNOVADORES***

Cartagena, julio de 2019

**Doctorando:**

Diego García Sánchez

**Directores de Tesis:**

Dr. José Fernando Cerdán Cartagena

Dr. Juan Suardiaz Muro



*“No juzgues el día por la cosecha que has recogido, sino por las semillas que has plantado”.*  
*Robert Louis Stevenson.*

### **Dedicatoria**

A mis padres, por confiar y apoyarme de forma incondicional en todo momento, por estar siempre allí con los brazos abiertos y sin reproches, por enseñarme lo realmente importante de la vida y ser mis mayores referentes.

A Raquel, Gonzalo y Loreto, por formar una familia con la cual poder llevar a cabo este trabajo.

### **Agradecimientos**

A mis directores Fernando y Juan, los cuales siempre han estado cerca guiándome y apoyándome.





## ÍNDICE DEL DOCUMENTO

RESUMEN .....	4
ABSTRACT .....	5
CAPÍTULO 1 .....	14
1 EMPRENDER DESDE LA UNIVERSIDAD .....	15
1.1 INNOVACIÓN .....	16
1.2 EMPRENDER CON INNOVACIÓN .....	17
1.2.1 Apoyos .....	17
1.3 HERRAMIENTAS DIGITALES PARA EMPRENDER .....	19
1.3.1 Creatlr .....	19
1.3.2 Strategyzer App .....	20
1.3.3 Business Model Fiddle .....	20
1.3.4 Abizmo .....	21
1.3.5 Canvanizer .....	22
1.3.6 Bevator .....	23
1.4 LA SPIN-OFF .....	23
1.4.1 Ingeniatic desarrollo .....	24
1.4.1.1 Recursos iniciales para iniciar el proyecto de empresa .....	26
1.4.1.2 Actividades, productos y plantas productivas de la empresa .....	27
1.4.1.3 Estrategia general de la empresa para los próximos años .....	28
1.4.1.4 Capacidad Tecnológica e Industrial .....	29
1.4.1.4.1 Cuantificación de la capacidad tecnológica de la empresa .....	30
1.5 CONCLUSIONES .....	36
1.6 REFERENCIAS .....	36
CAPÍTULO 2 .....	38
2 CONEXIÓN DE TERMINALES FUERA DE COBERTURA .....	39
2.1 INTRODUCCIÓN .....	39
2.2 ESCENARIO DE REFERENCIA .....	41
2.3 ESPECIFICACIÓN DEL PROTOCOLO .....	42
2.4 INTERCAMBIO DE MENSAJES DEL PROTOCOLO .....	43
2.5 DEFINICIÓN DE LOS MENSAJES .....	48
2.1 EVALUACIÓN DEL PROTOCOLO .....	49
2.1.1 Parámetros de simulación .....	49
2.1.2 Evaluación del rendimiento del protocolo .....	50
2.1.2.1 Evolución del tráfico variando el parámetro PG .....	50
2.1.2.2 Evolución del tráfico variando el parámetro nConnec .....	51
2.1.2.3 Evolución del tráfico variando el parámetro indTired .....	52

2.2 CONCLUSIONES .....	52
2.3 REFERENCIAS .....	54
CAPÍTULO 3 .....	56
3 PUESTA EN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO COOPERATIVO .....	57
3.1 INTRODUCCIÓN .....	57
3.2 ASPECTOS DE DISEÑO .....	60
3.3 MANUAL DE USUARIO.....	63
3.3.1 Configuración de los terminales.....	63
3.3.2 Instalación de la aplicación .....	64
3.3.3 Primeros pasos con la aplicación Salta 2.0.....	66
3.3.4 Menú principal de la aplicación .....	67
3.3.5 Recepción de mensajes.....	67
3.3.6 Menú enviar mensaje.....	68
3.3.7 Menú mensajes recibidos .....	70
3.3.8 Menú Contactos .....	72
3.3.9 Menú ver mi dirección IP .....	74
3.3.10 problemas y soluciones.....	74
3.3.11 REQUISITOS MÍNIMOS .....	75
3.4 ANEXO I: ASIGNACIÓN DE DIRECCIONES IP .....	75
CAPÍTULO 4 .....	80
4 EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE TRÁFICO PRIORITARIO IP MULTIMEDIA EN UNA RED WIMAX .....	81
4.1 INTRODUCCIÓN.....	81
4.2 IMPORTANCIA DEL CONTROL Y LA GESTIÓN DEL TRÁFICO IP EN LAS REDES WIMAX .....	84
4.2.1. WiMAX como tecnología de acceso a los medios de comunicación.....	84
4.2.2. La capa WiMAX MAC.....	85
4.3. ARQUITECTURA DE RED WIMAX .....	87
4.4 PRUEBA DE LA ARQUITECTURA DE DESPLIEGUE DE RED .....	89
4.4.1. Gestión de recursos de red. Parámetros de tráfico .....	90
4.4.2 Configuración de la interfaz QoS.....	91
4.5 MONITORIZACIÓN DE HARDWARE Y DE RED.....	92
4.5.1. Control de tráfico .....	93
4.6 RESULTADOS .....	94
4.6.1. Prueba 1: Tráfico y configuración .....	94
4.6.2. Prueba 2: Tráfico y configuración .....	95
4.6.3. Prueba 3: Tráfico y configuración .....	96

## ÍNDICE DEL DOCUMENTO

4.7 CONCLUSIONES .....	98
4.8 REFERENCIAS.....	98
CAPÍTULO 5 .....	100
5 TECNOLOGÍA EN EL AULA PARA LA MEJORA DEL RENDIMIENTO ACADÉMICO.....	101
5.1 INTRODUCCIÓN.....	102
5.1.1 Estudios Genéricos.....	103
5.1.2 Aprendizaje Colaborativo.....	103
5.1.3 Aprendizaje Basado En Problemas.....	104
5.1.4 Aprendizaje Mixto.....	104
5.1.5 Aprendizaje Móvil.....	104
5.2 LA APLICACIÓN DE PDAS Y SMARTPHONES EN EL AULA.....	105
5.2.1 Plataforma docente interactiva WIFI.....	105
5.2.1.1 Sistemas similares.....	105
5.2.1.2 Principios pedagógicos.....	108
5.2.1.3 Especificación y desarrollo de la plataforma.....	109
5.2.2 Resultados.....	111
5.2.3 Conclusiones.....	113
5.3 PLATAFORMA MOTIVA.....	114
5.3.1 Introducción.....	114
5.3.1 Metodología.....	116
5.3.1.1 Investigación sobre las necesidades de los profesores.....	116
5.3.1.2 Desarrollo de la plataforma de MOTIVA.....	118
5.3.2 Experiencia de Usuario.....	120
5.3.2.1 Mapas basados en el movimiento del ratón (mouse movement heatmap).....	121
5.3.2.2 Mapas basados en click de ratón (CLICK HEATMAPS).....	122
5.3.2.3 Evaluación de la experiencia de usuario en MOTIVA.....	122
5.3.3 Conclusiones.....	123
5.4 REFERENCIAS.....	124
CAPÍTULO 6 .....	128
6 SERVICIO DE LOCALIZACIÓN Y DIFUSIÓN DE CONTENIDOS CONTEXTUALES.....	129
6.1 ESCENARIO DE TRABAJO.....	129
6.2 ELEMENTOS DEL SISTEMA.....	131
6.2.1 Servidor de difusión de contenidos.....	131
6.2.2 Clientes.....	131
6.2.3 Red de acceso y localización.....	132
6.2.4 Ubicaciones y elementos expuestos.....	132

6.3 TECNOLOGÍA DE LOCALIZACIÓN .....	132
6.4 DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD .....	134
6.4.1 Aplicación Cliente .....	135
6.4.2 Aplicación Servidor de Base de Datos .....	141
6.5 CONFIGURACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA .....	144
6.5.1 Config-Servidor.ini.....	144
6.5.2 Base de datos.ini .....	145
6.5.3 Acceso.ini.....	147
6.6 MANUAL DE USUARIO DE LA APLICACIÓN CLIENTE.....	148
6.6.1 Instalación y ejecución de la aplicación .....	148
6.6.2 Funcionamiento de la aplicación.....	149
6.6.3 Problemas y soluciones .....	150
6.6.4 Otras consideraciones .....	151
6.7 MANUAL DE USUARIO DE LA APLICACIÓN SERVIDOR .....	151
6.7.1 Instalación del entorno de ejecución .....	152
6.7.2 Instalación y ejecución de la aplicación .....	152
6.7.3 Manejo de la lista de eventos producidos .....	153
6.7.4 Iniciar el servidor .....	154
6.7.5 Detener el servidor.....	154
6.7.6 Cargar una base de datos.....	155
6.7.7 Modificar el puerto de comunicaciones.....	156
6.7.8 Generar fichero de configuración para un cliente .....	157
6.7.9 Salir de la aplicación .....	158
6.7.10 Problemas y soluciones .....	158
CAPÍTULO 7 .....	160
7 CONCLUSIONES .....	161

# CAPÍTULO 1

## EMPRENDER DESDE LA UNIVERSIDAD

## 1 EMPRENDER DESDE LA UNIVERSIDAD

Las iniciativas empresariales son la principal fuente de nuevos puestos de trabajo en la economía de la UE. A medida que avanzamos en el siglo XXI, es importante reflexionar sobre las grandes contribuciones que los empresarios han hecho al bienestar de nuestra sociedad y a la riqueza de nuestra economía. La mejora continua exige una cultura más empresarial en toda Europa. Los europeos necesitan más inspiración para encontrar y desarrollar su "mentalidad emprendedora".

Los estudiantes universitarios, los profesores y el personal de las empresas, como usuarios finales, deben tener la oportunidad de contribuir con sus ideas como emprendedores de una manera natural al bienestar de la sociedad y a la riqueza de nuestras economías. Sin embargo, esto no es fácil. Pero es posible gracias a centros de formación especializados, públicos o privados, que ayudan a los usuarios a incubar ideas o a acelerar los proyectos de puesta en marcha.

El emprendimiento debe abordarse desde el compromiso a través de las complejas etapas de su proceso. Para apoyar a los emprendedores, las instituciones académicas deben proporcionar nuevas herramientas para desarrollar y mejorar las habilidades empresariales, como, por ejemplo, vincular la creatividad a la propia empresa, diseñar un modelo de negocio o hacer el desarrollo del cliente [1]. Para promover estas habilidades, las herramientas diseñadas deberían utilizar entornos de aprendizaje no tradicionales de educación superior [2].

Muchas metodologías educativas podrían contribuir a generar diferentes herramientas para ayudar a los emprendedores [3]. Teniendo en cuenta el alto nivel de complejidad del proceso empresarial, las instituciones académicas están dando apoyo para desarrollar metodologías basadas en la innovación, el aprender haciendo, aprendiendo por el error [4],[5], networking o enfoques de e-learning.

Sin embargo, faltan herramientas para combinar diferentes enfoques metodológicos dirigidos a emprendedores y estudiantes. Es un tema clave, porque la conciencia empresarial es heterogénea y compleja [6], por lo que debe ser abordada utilizando diferentes teorías de aprendizaje [7]. En concreto, los proyectos empresariales basados en la innovación y las nuevas tecnologías están asociados a un alto nivel de incertidumbre. Es necesario aplicar metodologías ágiles para reducir el nivel de incertidumbre.

Superar la brecha entre la educación superior y las empresas. Es un hecho ampliamente reconocido que existe un desajuste de cualificaciones entre los sectores de la enseñanza superior y el empresarial. Se conviene en que es necesario establecer un vínculo más estrecho entre la educación y el mercado de trabajo para hacer frente a estos retos en materia de cualificaciones [8]. Debe seguirse un enfoque metodológico más práctico para garantizar que los estudiantes estén bien preparados para lo que exige el mercado laboral, lo que es especialmente necesario cuando se trata de competencias empresariales. Se requiere una transferencia de conocimientos de las empresas a las universidades. Es necesaria la cooperación (estudiantes, profesores y empleados juntos), con el fin de co-crear una metodología de aprendizaje y un contenido efectivos para asegurar el desarrollo de soluciones a los problemas más desafiantes, así como la innovación de productos y procesos. Los contenidos resultantes serán incorporados por las universidades y las empresas a través de programas de educación formal e informal.

## 1 EMPRENDER DESDE LA UNIVERSIDAD

¿Existe una fórmula que garantice el éxito en el lanzamiento de una empresa al mercado? Si lo hubiera, todos tendrían éxito con sus ideas innovadoras.

Las metodologías ágiles (Crystal, Scrum, FDD), el design thinking y el lean startup ayudan a reducir los riesgos al lanzar una empresa al mercado, pero no garantizan el éxito.

La gran ventaja de este tipo de metodologías es que permiten probar la idea de negocio desde el primer minuto. Te permiten conocer a tus clientes, sentir empatía con ellos, conocer sus objetivos, sus acciones y sus problemas. Y para lograrlo, es necesario desarrollar experimentos, medir y aprender de los errores. Es la única manera de lanzar una empresa al mercado con ciertas garantías de éxito.

Con la metodología Lean Startup, se construye a medida que se obtiene un mayor conocimiento del mercado, invirtiendo sumas más importantes sólo cuando el aprendizaje ya ha tenido lugar. De esta manera, el método Lean StartUp permite invertir menos recursos (tiempo, dinero y entusiasmo) en la fase de aprendizaje y prueba de la idea de negocio, e invertir más recursos o solicitar financiación cuando el conocimiento y las posibilidades de éxito son altas.

La metodología Lean StartUp es un concepto acuñado por Eric Ries, aunque proviene de Japón y se basa en las teorías de Lean Manufacturing de Toyota. Es la evolución del concepto tradicional de Lean, al caso específico de lanzar Startups al mercado. Ries, ingeniero de software, como se explica en su libro "The Lean Startup" [9], aplica la teoría Lean al lanzamiento de nuevas empresas. Tuvo la suerte de conocer a Steve Blank, desarrollador de la metodología Customer Development [10], centrado en conocer muy bien a los clientes y sus problemas antes de lanzar cualquier idea de negocio al mercado.

El aprendizaje validado, la experimentación y la iteración son los tres pilares sobre los que se basa la metodología Lean Startup. El objetivo es reducir el riesgo en el lanzamiento de nuevos productos y servicios. Aprender del cliente (desarrollo del cliente) es la clave y cuanto más rápido y barato, mejor.

Para ello, la experimentación es la herramienta que transforma nuestras hipótesis iniciales en hechos, haciendo del aprendizaje el pilar sobre el que construimos nuestro producto o servicio y nuestro modelo de negocio. La experimentación consiste en afrontar lo antes posible las ideas al mercado, en forma de prototipos, entrevistas, productos mínimos viables (VMP), para probar la hipótesis de negocio y convertirlas en hechos. En resumen, hay que probar la propuesta de valor lo antes posible.

### 1.1 INNOVACIÓN

Un producto generalmente es visto como algo que podemos usar.

El término "innovación" deriva del latín "novus", que significa nuevo o joven. Desafortunadamente, no existe una definición única y aceptada del término "innovación". Históricamente, la innovación se definía como la introducción de nuevas tecnologías, elementos o una nueva combinación de elementos antiguos en organizaciones industriales [11]. Mucho más tarde, Kanter (1983) [12], definió la innovación como el proceso de poner en práctica cualquier idea nueva para resolver problemas.

Según la definición que el gobierno británico dio en el informe "Nation Innovation", de marzo de 2008 [13], se entiende la innovación como "la explotación exitosa de nuevas ideas que funcionan".



Según el diccionario de la Real Academia Española, es la creación o modificación de un producto, y su introducción en un mercado.

Si hoy en día pensamos en la "innovación" como un "proyecto de innovación", entonces tiene como misión realizar las siguientes actividades: Desarrollar, comercializar y "vender" un nuevo producto y/o servicio con el objetivo de que sea usado o consumido.

Por tanto, parece claro que no podemos decir que un producto es innovador hasta que ha sido vendido o consumido. Y por ello, ante la pregunta, ¿todo lo nuevo es innovador? La respuesta es claramente no, si no ha sido vendido o consumido. Lo nuevo está relacionado con la investigación y el desarrollo. El objetivo de la investigación es saber más, encontrar nuevo conocimiento que potencialmente puede propiciar el diseño de nuevos productos, procesos o técnicas. El desarrollo es similar, la diferencia está en que en el desarrollo se interpreta el nuevo conocimiento o el ya conocido para diseñar nuevos productos, procesos o métodos.

### 1.2 EMPRENDER CON INNOVACIÓN

Emprender es buscar una oportunidad y activarnos para aprovecharla. Las oportunidades son más importantes que las ideas. Las oportunidades pueden basarse en ideas nuevas o conocidas pero ejecutadas de forma distinta, o de igual forma en lugares distintos. La ventaja de basarse en ideas conocidas es la reducción de incertidumbre o riesgo ya que se tiene más información de partida [14].

Por lo tanto, ambos conceptos pueden ir de la mano ya que la innovación nos ofrece una oportunidad.

Actualmente es muy difícil enfrentarse y acceder al mundo laboral, por lo que una alternativa sería emprender captando una necesidad. Si le agregamos valor con la innovación aumentan las posibilidades de éxito. Para ello es fundamental entrar en el círculo: Excelencia-Innovación-Anticipación.

Los inconvenientes más destacables son: En primer lugar, es que hay más riesgo al existir mayor incertidumbre que una actividad tradicional. Y en segundo lugar hay más desconfianza para conseguir financiación, al ser una idea innovadora. Realmente será innovadora si se convierte en negocio como se ha explicado en la sección anterior en relación a la venta y consumo de productos.

Los emprendedores que innovan son los que aportan al crecimiento del país. Agregan valor a los recursos naturales y a la tecnología adquirida y crean empleo de calidad. Por lo que emprender con innovación es una oportunidad, no únicamente para los que se atreven a dar ese gran paso, sino también para el desarrollo de una Región.

#### 1.2.1 Apoyos

Existen líneas de financiación mediante aportes reembolsables y no reembolsables a aquellos emprendedores que innovan. En general este tipo de ayudas se establecen sin avales o sin garantías. ENISA ofrece préstamos participativos sin avales y sin intereses. La fórmula suele ser al 50% por cada parte hasta 75.000 € en las líneas de menor cuantía.

## 1 EMPRENDER DESDE LA UNIVERSIDAD

Instrumento Pyme o SME instrument de la Comisión Europea es una buena opción para empezar, aunque extremadamente competitiva. España junto a Italia y Reino Unido es uno de los países que más propuestas presenta con una tasa de éxito del 11% mientras que la media europea se sitúa en torno al 8%. Instrumento PYME es un programa acelerador por fases cuyo objetivo es desarrollar innovaciones que permitan el crecimiento de la empresa. Las propuestas bien evaluadas, pero sin financiación en fase 1 son rescatadas por el CDTI en el programa Horizonte Pyme.

Step	Tools
Customer development	Canvas, early adopter, web, social networks, etc.
Business idea	Creativity 180s, market knowledge
Business model	Business model canvas (Osteewalder, Ash Mayouria), Hypothesis matrix
Prototyping	Software: POP or prototyper Free apps Hardware: Arduino and breadboard components simulator. PCB design apps Real product: Free CAD software Service: storytelling, Customer Journey Map
Show the solution	Free presentation software
Gather client feedback-update solution	Kanban task organizers: Wekan, Archmule, KanbanFlow, etc.
Funnel	Free Marketing Automation Software For Small businesses : includes Website Tracking, Email Marketing, Automated Campaigns, Web forms, Landing pages, Lead Scoring, Segmentation, Progressive Profiling, Dynamic Content, Third Party Integrations, etc.
Release the product	Online communities

Tabla 1: Sistematización de Lean startup en 8 pasos

El programa NEOTEC se dirige a empresas de menos de tres años con un capital social mínimo de 20.000 € y saneadas económicamente. Según el objeto de la convocatoria de 2019 las ayudas financiarán la puesta en marcha de nuevos proyectos empresariales, que requieran el uso de tecnologías o conocimientos desarrollados partir de la actividad investigadora y en los que la estrategia de negocio se basen el desarrollo de tecnología.

La convocatoria Emplea antes INCORPORA, resulta muy interesante porque permite la contratación de tecnólogos durante tres años. Se trata de un préstamo sin intereses y sin avales a 7 años con un periodo de carencia de 3.

Eurostars es similar a SME Instrument pero con la participación de al menos dos empresas. CDTI se hace cargo en España del 50% de la ayuda a fondo perdido. Es una línea con menos presupuesto, pero también menos competitiva.

Finalmente destacamos el programa Retos-Colaboración, cuyo objetivo es la financiación de proyectos en cooperación entre empresas y organismos de investigación, con el fin de promover el desarrollo de nuevas tecnologías, la aplicación empresarial de nuevas ideas y técnicas, y contribuir a la creación de nuevos productos y servicios. La ayuda Retos de Colaboración, subvenciona proyectos de desarrollo experimental, cuyas temáticas deben estar alineadas con las prioridades establecidas en los Retos del Programa Estatal de I+D+i orientada a los Retos de la Sociedad. El presupuesto mínimo por proyecto es de 500.000€.

La ventaja de estas ayudas es que permiten al emprendedor apostar sin arriesgar en exceso y mucho menos su patrimonio personal. Además, al estar tan instrumentalizado el desarrollo del emprendimiento favorece la adopción de técnicas de gestión de la incertidumbre, como lean start-up. En la tabla 1 se resume un proceso de Lean start-up en 8 pasos.

### 1.3 HERRAMIENTAS DIGITALES PARA EMPRENDER

A continuación, se muestra una compilación de herramientas digitales que ayudan al emprendedor a recopilar y sistematizar el proceso de aplicación de metodologías ágiles, como Design Thinking y Lean Startup.

#### 1.3.1 Creatlr

**Resumen:** Plataforma web que permite utilizar gran variedad de herramientas para aplicar Design Thinking, Visual Thinking y Lean Startup en proyectos de forma colaborativa con otros miembros de un proyecto. Dispone de un tablero tipo kanban para estructurar las herramientas usadas en los proyectos. La versión gratuita permite gestionar hasta 5 proyectos promovidos por 5 miembros. También tiene un chat interno para poder hablar con los diferentes miembros de un proyecto.

**Idioma:** inglés

**Modelo:** freemium

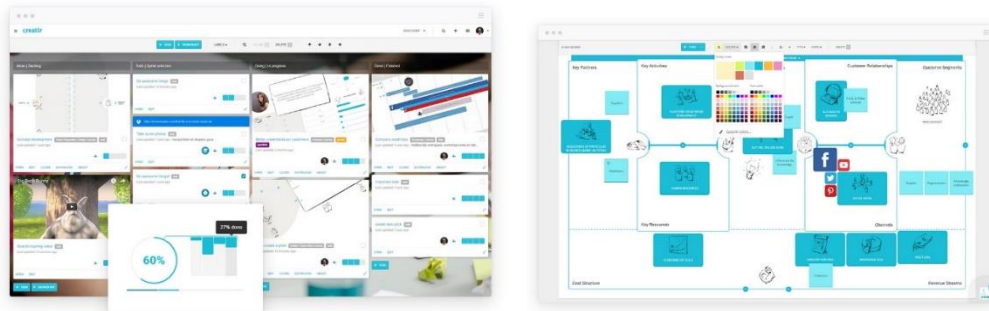
**Herramientas disponibles:** Business Model Canvas, Empathy Map, Lean Canvas, Environment Canvas, Persona, Value Proposition Canvas, Golden Circle Pitch... (Más de 200 diferentes)

**Tiene tutoriales para explicar las herramientas:** Si

**Dirección web:** <https://www.creatlr.com>

**Capturas:**

# 1 EMPRENDER DESDE LA UNIVERSIDAD



## 1.3.2 Strategyzer App

**Resumen:** Plataforma web desarrollada por los creadores del Business Model Canvas que permite diseñar de forma colaborativa en tiempo real, estimar costes, testear y compartir herramientas para aplicar Lean Startup. También tiene un chat interno para poder hablar con los diferentes miembros de un proyecto y un registro de ediciones realizadas.

**Idioma:** inglés

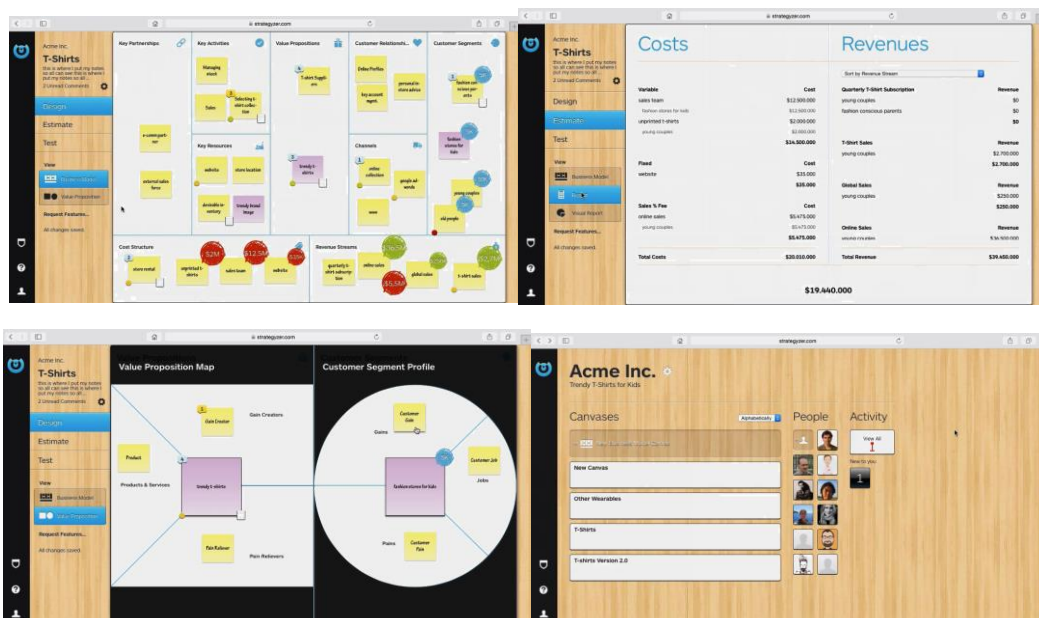
**Modelo:** comercial

**Herramientas disponibles:** Business Model Canvas y Value Proposition Canvas.

**Tiene tutoriales para explicar las herramientas:** Si

**Dirección web:** <https://strategyzer.com/app> (vídeo spot <https://vimeo.com/75610358>)

**Capturas:**



## 1.3.3 Business Model Fiddle

**Resumen:** Plataforma web basada en HTML5 que permite diseñar herramientas para aplicar Lean Startup y Design Thinking. Se puede dar acceso a otros usuarios para que editen las herramientas de forma colaborativa.

**Idioma:** inglés

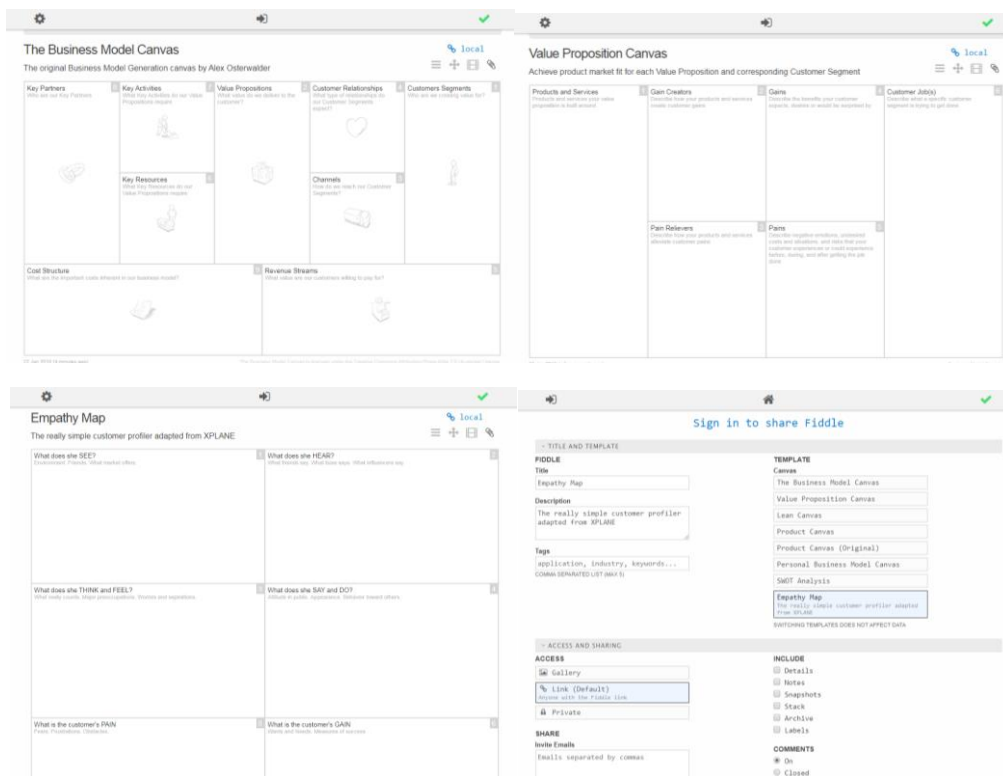
**Modelo:** free

**Herramientas disponibles:** Business Model Canvas, Value Proposition Canvas, Lean Canvas, Product Canvas, Personal Business Model Canvas, SWOT Analysis y Empathy Map.

**Tiene tutoriales para explicar las herramientas:** No, pero incluye preguntas de guía para ayudar a completar las herramientas.

**Dirección web:** <https://bmfiddle.com>

**Capturas:**



### 1.3.4 Abizmo

**Resumen:** Plataforma web que permite diseñar la herramienta Business Model Canvas y compartir con otros miembros de un proyecto. Dispone de plantillas de Business Model Canvas tradicional y Business Model Canvas para proyectos del sector de la sanidad.

**Idioma:** inglés

**Modelo:** free

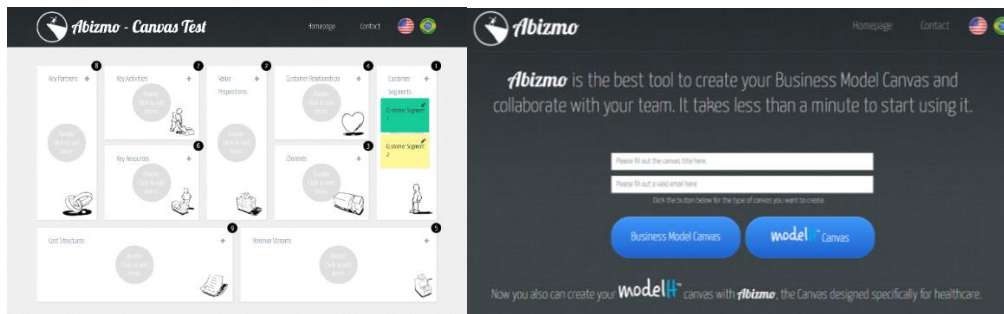
**Herramientas disponibles:** Business Model Canvas y Business Model Canvas for healthcare.

## 1 EMPRENDER DESDE LA UNIVERSIDAD

Tiene tutoriales para explicar las herramientas: No

Dirección web: <http://abizmo.com>

Capturas:



### 1.3.5 Canvanizer

**Resumen:** Aplicación web gratuita que permite utilizar herramientas de Design Thinking, Visual Thinking y Lean Startup de forma colaborativa. En función de la categoría del proyecto a desarrollar, se proponen diferentes herramientas para los emprendedores. Están desarrollando una versión 2.0 con mejor diseño y funcionalidades exclusivas de pago, como invitar a usuarios para que editen las herramientas de forma colaborativa, chat interno, registro de ediciones realizadas y exportar a diferentes formatos (PDF, Imagen, CSV...)

**Idioma:** inglés

**Modelo:** freemium

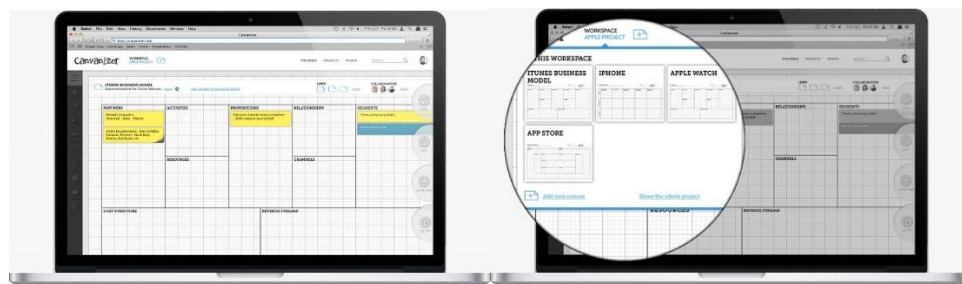
**Herramientas disponibles:** Business Model Canvas, Lean Canvas, Lean Change Canvas, Feedback Canvas, SWOT analysis, Open Innovation Canvas, Canvas4Change, Business Model Zen Canvas, HR Innovation Canvas, Pitch Planner Canvas, Disruption by Design Canvas, Customer Journey Canvas, Service Blueprint Canvas, Feedback Canvas, Basic Kanban Canvas, Project Canvas, Feedback Canvas y Contract Canvas

Tiene tutoriales para explicar las herramientas: Si

Dirección web: <https://canvanizer.com>

Dirección web versión 2.0: <https://canvanizer.com/thenextlevel10>

Capturas:





### 1.3.6 Bevator

**Resumen:** Aplicación web de la consultora de innovación Advenio estructurada en seis fases necesarias para diseñar y validar un modelo de negocio sostenible, viable y escalable. Dispone de herramientas para aplicar innovación mediante metodologías Lean Startup y Design Thinking.

**Idioma:** español

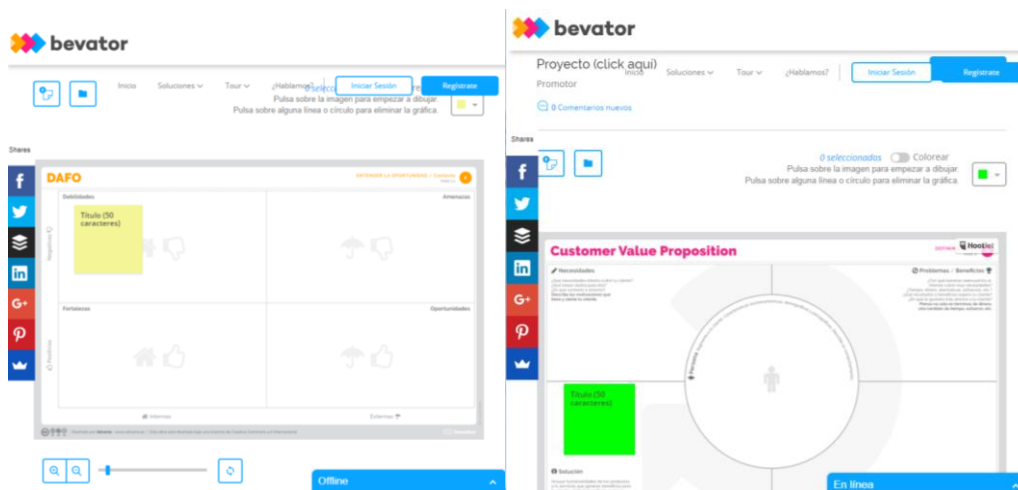
**Modelo:** freemium

**Herramientas disponibles:** Mapa del entorno, Análisis del entorno, DAFO, Stakeholders Map, Stakeholders Matrix, Curva de valor, Matriz CREA, Círculo de oro, Blueprint, Lean Canvas, Business Model Canvas, Customer Value Proposition, Customer Journey, Mapa de empatía, etc. Aquí más herramientas: <https://www.bevator.com/recursos-bevator>

**Tiene tutoriales para explicar las herramientas:** Si

**Dirección web:** <https://www.bevator.com>

**Capturas:**



### 1.4 LA SPIN-OFF

Un Spin-off es el proceso por el cual surge una empresa de otra entidad preexistente, desgajándose de esta última. Coloquialmente, también se conoce como Spin-off a la nueva

## 1 EMPRENDER DESDE LA UNIVERSIDAD

empresa resultante. El término sirve por tanto para definir unos pasos, una experiencia, así como a una empresa por el origen de la misma.

### ***Spin-off empresarial***

Cuando la nueva empresa procede de otra empresa previa preexistente (incluyendo como empresas también a instituciones públicas). Históricamente han sido los mayoritarios, y seguramente los más relevantes y conocidos. Normalmente Ubicados en los CEEIs-BICs (Centros Europeos de Empresas e Innovación-Business Innovation Centres). No necesariamente estos emprendimientos han de conllevar la carga tecnológica que implica dicha etiqueta.

### ***Spin-off académico***

Cuando procede o nace, en el seno de centros universitarios, institutos de investigación.

Son los más novedosos, recientes y escasos, pero cuentan con distintas líneas y programas de apoyo. ¿Los motivos? Conseguir trasladar conocimiento de las Universidades, de la Investigación teórica a la empresa, a las aplicaciones prácticas. Suelen contar con apoyo en infraestructuras (ubicación, equipamiento de oficina y servicios básicos).

### ***Motivos para crear una spin-off***

Son múltiples, que pueden combinarse entre sí o excluirse mutuamente. Podemos considerar los siguientes: La retención del talento, donde se trata de no dejar escapar empleados valiosos, de convertirlos en socios en nuevos proyectos empresariales, lo que seguramente aportará un plus de compromiso. La aparición de nuevos nichos de negocio, ya que es posible que en el devenir empresarial la organización encuentre nuevas oportunidades. Y si bien en un principio se entiende que pueden desarrollarse en el seno de la empresa, llegado un momento es posible que encuentre un marco más adecuado fuera de la misma, de su cultura corporativa, de su estructura, etc. También pueden surgir como consecuencia del desarrollo de nuevas tecnologías surgidas de Centros de investigación. La supervivencia empresarial es otra consecuencia. En procesos de crisis empresarial son frecuentes los spin-offs, como el caso de algunas compañías aéreas Low Cost. La empresa se trocea intentando salvar lo salvable, teniendo lugar en ocasiones proceso de compra de parte de las mismas por los antiguos directivos o empleados. Es una cara triste de las spin-offs empresariales pero que más de una vez ha salido bien para todos. En otros casos, dicho proceso de spin-off en lo que desemboca es en manos de una empresa liquidadora. También por motivos fiscales, de consolidación de cuentas, de aplicación de convenios o de determinada normativa laboral, existen economías de opción que apuestan por la segregación empresarial. Un caso no deseable son las spin-offs creados por y para una subvención concreta. O bien las promotoras inmobiliarias, que desaparecen una vez vendida la promoción. Cuando hay una estrategia financiera, se trata de captar fondos para desarrollar una determinada unidad de negocio sin que esto suponga la entrada en la matriz. En ocasiones, empresas clásicas segregan a sus filiales al amparo o reclamo de las nuevas tecnologías o de los nuevos nichos de negocio.

#### 1.4.1 Ingeniatic desarrollo

Crear un negocio no es tarea fácil para un investigador. A menudo se obvia la visión empresarial y se fracasa. El principal problema es que el emprendedor-investigador no la tiene. Se requiere



formación específica en términos de mercado, competencia, marketing, finanzas, gestión integral de la empresa.

La capacidad para buscar recursos, contactos, relaciones o alianzas beneficiosas no se enseña y es fundamental. En definitiva, el emprendedor ya sea un investigador o un alumno, tiene la ilusión y la capacidad para llevar a cabo ideas y convertirlas en productos. Sin embargo, no está claro que posea las mismas habilidades del empresario, cuyo objetivo es desarrollar un recorrido al producto que de beneficios a la empresa y consolidarlo como negocio.

La empresa se creó a finales de 2011. La forma jurídica escogida fue la de S.L por la limitación de la responsabilidad. El capital social inicial fue de 3000 € aunque luego se aumentó como se explicará más adelante. Se intentó meses antes de la creación registrar la denominación Ingeniatic como marca, pero hubo oposición de la empresa sevillana ingeniatrix. Después de varias alegaciones con sus costes de profesionales y tasas fue imposible conseguir la marca, a pesar de que las actividades de ambas empresas eran completamente diferentes. La empresa sevillana estaba en su derecho y la similitud fonética era suficiente ya que existían precedentes jurídicos que le daban la razón a la empresa opositora. No obstante, en el registro mercantil no hubo ningún problema, aunque se le añadió la coetilla Desarrollo. Y en el registro de dominios de internet tanto el .com como el .es estaban disponibles, de forma que se registraron ambos dominios a nombre de la empresa. Esto es debido a que las bases de datos de marcas, registro de empresas y dominios no están conectadas. Sin embargo, el registro de una marca en la OEPM es muy importante, ya que la marca prevalece sobre las otras formas y además empresas de abogados especializados en patentes y marcas ofrecen vigilancia durante años, a cambio de los honorarios correspondientes, lo cual ha generado en este campo un negocio.

En la imagen podemos ver a los socios fundadores, en las primeras instalaciones de la empresa en el CEEIC de Cartagena en el polígono industrial de Cabezo Beaza.

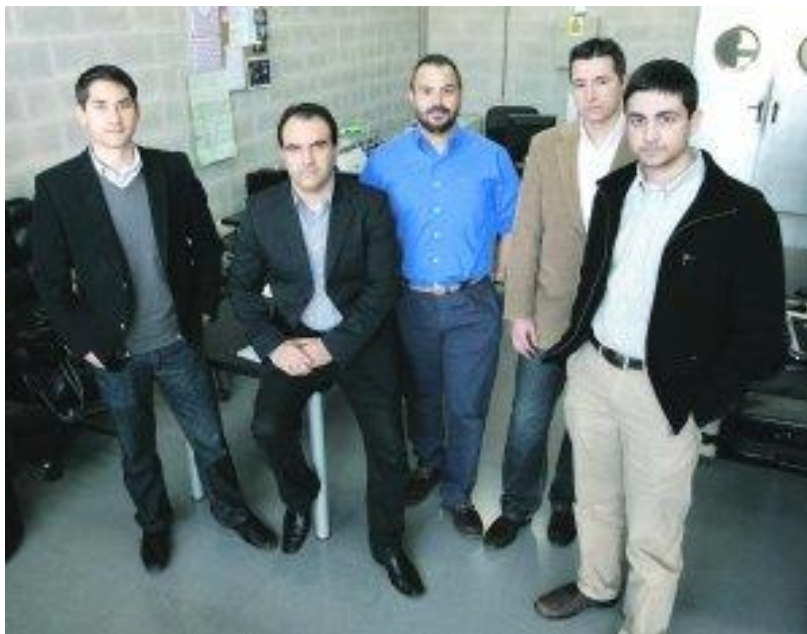


Imagen 1: Equipo fundador de Ingeniatic Desarrollo S.L.

Se trataba de un grupo muy cualificado, ya que los tres alumnos de la imagen eran alumnos del programa de doctorado TIC. El primero por la izquierda Sergio Luján abandonó la empresa en 2018. El primero por la derecha Andrés Cabrera leyó su tesis en 2015, y yo mismo a su lado con

## 1 EMPRENDER DESDE LA UNIVERSIDAD

este documento la presentaré en 2019. En el centro de izquierda a derecha los profesores de la UPCT Fernando Cerdán y Juan Suardiaz.

La participación de los profesores en base a ausencia de incompatibilidades del profesorado participante LOMLOU 4/2007 y al reglamento de creación de empresas de base tecnológica (EBT) de la UPCT supone una serie de ventajas, a cambio de incluir en el accionariado a la propia universidad UPCT sin aportación dineraria. Entre estas ventajas, las más importantes son la asociación con la imagen de la universidad y la posibilidad de disponer de un espacio en las propias instalaciones de la universidad. Entre las obligaciones, está el rendimiento de cuentas con la UPCT en función de los beneficios.

Somos la primera empresa del sector TIC participada por la UPCT.

La I+D+i es un valor que tiene que ser identificado como un componente estratégico y un compromiso de excelencia industrial, con el objetivo de obtener innovaciones a medio y largo plazo rentables para la empresa.

Los promotores de esta empresa por nuestro origen universitario somos los primeros en creer que la innovación tecnológica pasa necesariamente por la investigación y la cualificación de excelencia mediante la contratación de doctores.

Esta fórmula (figura 1) de la mano de la UPCT permite unir lo mejor de la universidad con la visión de mercado que aporta la empresa para entrar en un círculo que permite transferir tecnología, desarrollar y vender productos al mercado, así como captar financiación en forma de proyectos de I+D+i según la oportunidad sea propicia por el lado universitario o el empresarial.



Figura 1: Modelo de trabajo UPCT-Ingeniatic

### *1.4.1.1 Recursos iniciales para iniciar el proyecto de empresa*

Nuestro Know-How en aquel momento era de 250.000 Euros en contratos directos en 2010 como UPCT. Los contratos directos en forma de artículos 83 de la LOMLOU eran la base de que éramos un grupo capaz de resolver problemas planteados por otras empresas o

administraciones. En base a las ideas iniciales se hizo un estudio de mercado con la ayuda de la Cátedra Bancaja, Ayto. Cartagena e INFO. En 2009 fuimos seleccionados en el programa Uniemprendia a nivel nacional con el proyecto Terminales Wimax Portables Sin Licencia (Texfree). La idea del proyecto era el desarrollo y venta de terminales Wimax fácilmente portables, al estilo de los móviles actuales, en frecuencias de trabajo sin licencia. Y explotación de servicios de voz y datos basado en estos terminales. Entonces los terminales Wimax en bandas sin licencia eran muy pesados, 2 Kg. con antenas de 25 cm de diámetro, pero actualmente también. Tecnológicamente fue imposible desarrollar esa idea por intereses ajenos a nosotros. Sin embargo, el programa Uniemprendia nos dio acceso a inversores ajenos para empezar.

Finalmente optamos por inversión propia (100.000 €) y solicitud de préstamo sin garantía al programa ENISA que no conseguimos. En 2011 las condiciones del programa ENISA eran diferentes a las actuales y entonces se consideró que el proyecto era muy joven, como así era.

Finalmente arrancamos con nuestros 100.000 € que formó parte de nuestro capital social y conseguimos dos programas INCORPORA del Minetur por valor 180.000 € a devolver íntegramente en 10 años (3+7).

### 1.4.1.2 Actividades, productos y plantas productivas de la empresa.

Como parte del acuerdo de creación de la empresa y transferencia de tecnología con la UPCT, la empresa tiene su sede de producción en uno de los espacios disponibles en el edificio CEDIT del parque tecnológico de Fuente Álamo, mientras que las líneas de I+D se llevan a cabo en laboratorio DINTEL del edificio ELDI también de la UPCT en Cartagena.

La actividad de la empresa se desarrolla fundamentalmente en el ámbito del uso intensivo de tecnologías web (PHP, Javascript, HTML5, CSS3, JQuery, Java, etc.) aplicada al desarrollo de productos y servicios en los sectores de la educación, smartcities, turismo, ocio y entretenimiento y administraciones públicas. En esta línea la empresa destaca en la provisión de Web Services para integrar aplicaciones web sobre los protocolos de la Internet y el desarrollo de apps móviles con tecnología híbrida.

Esta actividad se complementa con estudios, consultoría, y el diseño y ejecución de proyectos asociados a la ingeniería de telecomunicación y la telemática. En esta actividad, con frecuencia se suelen hacer pequeños desarrollos hardware, así como el uso de sistemas empotrados y autómatas.

El diseño de proyectos, despliegue, configuración y puesta en marcha de los equipos, sistema y protocolos que intervienen en las redes de telecomunicaciones y telemáticas (cableadas e inalámbricas) sobre las que se llevan a cabo intercambio de servicios de voz, datos, localización, multimedia, monitorización y gestión remota en general, también es muy habitual en la actividad de la empresa.

SmileYou fue un producto de gran recorrido y éxito. Se trataba de fotomatón abierto muy avanzado. Además de los efectos fotográficos, incluido el chroma key, los asistentes a un evento enriquecían su experiencia al poder tomar, imprimir y difundir en redes sociales sus propias fotografías al instante. SmileYou fue diseñado, patentado y desarrollado íntegramente por Ingeniatic. El producto se vendió en 2018 a uno de los socios, y la empresa apostó por una nueva línea de marketing digital denominada PLEASE. La marca smileyou sigue en propiedad de la empresa.

## 1 EMPRENDER DESDE LA UNIVERSIDAD

Siempre hemos tenido una clara vocación innovadora, apostando por la introducción de las TIC en el aula y el desarrollo nuevas metodologías y estrategias docentes apoyadas en las nuevas tecnologías disponibles y en los innumerables dispositivos que irrumpen a diario en el mercado. Prueba de ello es nuestro sistema CADI.

El sistema CADI utiliza la tecnología WiFi para “convertir” el dispositivo móvil de cada asistente en una potente herramienta que promueve esa interacción. Así, entre otras muchas funciones, los asistentes podrán lanzar mensajes escritos, realizar votaciones, responder encuestas, registrar exámenes y un larguísimo etc..., visualizando en cada caso los resultados de forma inmediata y muy atractiva con sus dispositivos WiFi.

### 1.4.1.3 Estrategia general de la empresa para los próximos años.

De forma general y como filosofía de la empresa, la búsqueda de nuevas oportunidades de negocio a través de las diferentes convocatorias regionales, nacionales e internacionales, ya sea en solitario o en cooperación con otras empresas y universidades es una constante llevada a cabo desde el nacimiento de la empresa, derivado del convencimiento que la inversión en I+D+i es el camino del crecimiento empresarial. Este aspecto también viene reforzado por su origen y su característica actual de EBT participada, donde se pretende cumplir adicionalmente una finalidad social o clave dentro del desarrollo de la Región de Murcia mediante las siguientes actuaciones:

- Transferencia de investigación desde la Universidad al sector privado.
- Generar oportunidades a los emprendedores universitarios.
- Propiciar con nuestro ejemplo la creación de nuevas empresas de una marcada base tecnológica derivada de la actividad de los grupos de investigación.

De forma más concreta y en relación a los productos y servicios que ofrece la empresa:

La internacionalización de algunos productos es la estrategia más compleja y ambiciosa que se pretende abordar. Pese a la dificultad que entraña, la creciente globalización de los mercados la hace sin duda necesaria y uno de los pilares de crecimiento de Ingeniatic a medio plazo. Inicialmente habrá que seleccionar el mercado y los servicios de exportación realizando una investigación de mercado (estudios de mercado, estadísticas, consumo y producción local, legislación, etc.). Esta selección es fundamental para intentar trasladar la buena imagen de marca y de servicio que tiene en la Región y en España, con el fin de disminuir la percepción de riesgo del cliente, y facilitar la tangibilidad y diferenciación del mismo lo más rápidamente posible. Otros pasos incluyen la definición del cliente, el canal de exportación, etc.

Como segundo pilar en la estrategia de crecimiento, Ingeniatic se ha unido al equipo de PLEASE, citado anteriormente, para ser un actor relevante en el sector de la factoría digital. Una asociación estratégica de desarrolladores, diseñadores, integradores, key accounts y analistas de datos cuyo objetivo es convertir a Ingeniatic en una empresa líder capaz de afrontar retos relacionados con la estrategia digital y el marketing omni-canal de cualquier tipo de compañía.

#### 1.4.1.4 Capacidad Tecnológica e Industrial

Ingeniatic desarrollo tiene su sede en el edificio CEDIT del parque tecnológico de Fuente Álamo. En él, se ubican la mayoría de empresas de base tecnológica de la UPCT, así como laboratorios de proyectos de I+D. En ese espacio Ingeniatic cuenta con infraestructuras y equipamiento para el desarrollo de su línea de negocio (servidores, licencias software, despliegue de redes e integración de sistemas) y puestos para los 8 empleados actuales. Tres de ellos suelen alternar su dedicación en los espacios de I+D de la empresa en otra ubicación.

Asimismo, en el seno del grupo DINTEL al que pertenecen los socios fundadores de la empresa, se cuenta a su vez con un espacio de 90 m<sup>2</sup> ubicado en el edificio más moderno de la UPCT, el ELDI, con 8 puestos de trabajo para ordenador y equipos de medidas de datos y protocolos de comunicaciones. Adicionalmente cuenta con una mesa de reuniones, un puesto de soldadura blanda y 8 mesas individuales para el personal docente investigador, profesores invitados, becarios y alumnos de doctorado y trabajos fin de estudios. En este espacio dedican tiempo de 2 a 3 veces por semana el administrador de la Empresa colaborando en los proyectos de IoT y localización y Andrés Cabrera en los proyectos de desarrollo software (front-end y back-end)

En Ingeniatic el diseño del portfolio de proyectos de I+D (que generarán el *conocimiento* que luego intentaremos transformar en *dinero*), está condicionado por la estrategia de innovación y encontrarse balanceado en varios aspectos (desde el foco de los proyectos hasta el *time-to-market*).

El portfolio de proyectos de I+D es nuestro manual práctico para **recorrer el camino** desde el momento actual hasta el punto donde queremos estar. Ese punto lo conocemos creando la **curva de valor objetivo** de la empresa y considerando el sector, producto o servicio y foco del proyecto. De esta forma la curva de valor es aquella que entendemos representa mejor el punto que nuestra empresa debe ocupar en el futuro, y que cumpla los **requisitos en relación con el resto del mercado** [15]

A continuación, analizamos el carácter del proyecto [16]

El análisis se basa en una clasificación que atiende al potencial **comercial del proyecto en relación a su probabilidad de éxito técnico** (*suele ir muy unido a la madurez de la tecnología base y estado del arte*). Por el tamaño de Ingeniatic, no dedicamos tiempo ni recursos a proyectos o ideas que en su momento parecieran interesantes pero cuyo recorrido no interesa actualmente, ni a proyectos de alto riesgo basados en tecnologías o innovaciones denominadas disruptivas. Nuestros recursos los dedicamos principalmente a **proyectos de innovación incremental**, donde hacemos mejoras evolutivas que dan continuidad al negocio presente y financian otro tipo de iniciativas.

En estas iniciativas destacan los **proyectos que consideramos con potencial comercial altísimo que utilizan técnicas/tecnologías probadas y consolidadas**. Es el caso de los sistemas de desarrollo software y localización en colaboración con empresas del sector y el desarrollo de ecosistemas basados en Internet de las cosas (IoT) donde se combinan las áreas de mayor potencial de Ingeniatic que son el desarrollo de web services la integración de sistemas, y el despliegue de infraestructuras inalámbricas.

## 1 EMPRENDER DESDE LA UNIVERSIDAD

En esta estrategia de I+D los proyectos relacionados con software, localización e IoT son los de mejor relación valor/riesgos asumibles por Ingeniatic.

### 1.4.1.4.1 Cuantificación de la capacidad tecnológica de la empresa

Para cuantificar la capacidad tecnológica de la empresa Ingeniatic Desarrollo S.L, vamos a mostrar los resultados derivados de la metodología descrita por el profesor J. Bessant y la ayuda de herramientas de capacitación de innovación en su versión más sencilla, con el fin de obtener una visión general de la capacidad tecnológica de la empresa adecuada a su situación actual. Esta herramienta sencilla consiste en un cuestionario de 24 preguntas [17], con una valoración de 1 a 4 para cada una de ellas. En función de la puntuación total y la metodología de J.Bessant [18] daremos a conocer en primer lugar, en qué medida la empresa Ingeniatic Desarrollo S.L. es capaz de tener una visión general de los elementos tecnológicos en el mercado, calcular su valor, seleccionar qué tecnología específica se necesita, usarla, adaptarla y mejorarla y al final desarrollarla. Y en segundo lugar la valoración de un conjunto de actividades específicas que hacen posible que la empresa pueda elegir y utilizar tecnología, para crear ventajas competitivas. Ese conjunto de actividades específicas son las 9 que se relacionan a continuación y en función de su valoración permiten determinar las fortalezas y las debilidades de una empresa en cuanto a su capacidad tecnológica:

1. Tener conciencia de la necesidad de mejorar la tecnología;
2. Habilidad para buscar las posibles amenazas externas y las oportunidades;
3. Crear un núcleo de capacidades diferenciadoras;
4. Desarrollar una estrategia tecnológica para apoyar el negocio;
5. Tener habilidad para valorar y seleccionar las soluciones tecnológicas adecuadas;
6. La adquisición y absorción de dichas tecnologías;
7. La implementación de esas tecnologías y su uso efectivo;
8. La capacidad para aprender la manera de mejorar esa tecnología a través de la experiencia;
9. La destreza para formar y explotar vinculaciones con una red de suministradores, investigadores y firmas colaboradoras.

A continuación, en la tabla 2, mostramos el cuestionario y la respuesta de Ingeniatic Desarrollo S.L a cada pregunta del cuestionario. Cada pregunta tiene una puntuación fija del 1 al 4. De esta manera se obtendrá una indicación de dónde están las debilidades y las fortalezas de su capacidad tecnológica y dónde se necesita más desarrollo.

Como se puede observar en el cuestionario la valoración de la empresa Ingeniatic Desarrollo S.L, solicitante de este proyecto es de 69 puntos. Esta puntuación según el método de J. Bessant citado anteriormente se interpreta como una empresa de nivel C en cuanto a capacidad

Preguntas	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo	NS/NC	
1 La tecnología juega un papel importante en la estrategia de la empresa		2	3		4	
2 Mi empresa es consciente de las tecnologías más importantes para su negocio.					4	
3 Mi empresa está bien equipada para valorar las oportunidades tecnológicas.			3			
4 Mi empresa puede evaluar las amenazas tecnológicas sin problemas.			3			
5 Mi empresa tiene una fortaleza especial en tecnología que puede explotar.					4	
6 Mi empresa sabe que tecnología puede externalizar y cual desarrollar internamente.					4	
7 Nuestra gestión es capaz de formular estrategias tecnológicas de cara al negocio.				3		
8 Nuestra empresa conoce sus principales prioridades tecnológicas.				3		
9 Nuestra empresa tiene desarrollada una visión tecnológica.				3		
10 Nuestra empresa sabe como seleccionar la tecnología necesaria para su negocio.				3		
11 Nuestra empresa sabe cuales son las mejores fuentes en tecnología.				3		
12 Nuestra empresa es eficiente adquiriendo tecnología de fuentes externas				3		
13 Nuestra empresa tiene vínculos con importantes proveedores de tecnología.		1				
14 Las actividades tecnológicas dentro de la empresa (Ingeniería e I+D) están bien organizadas.					4	
15 Tenemos claros los procesos para llevar a cabo los proyectos tecnológicos.				3		
16 Nuestra empresa tiene un buen sistema de valoración de los proyectos tecnológicos.				3		
17 Nuestra empresa lleva a cabo la revisión de los proyectos realizados.				3		
18 Somos capaces de aprender de un proyecto a otro.					4	
19 La política gubernamental fomenta la investigación tecnológica.			2			
20 Usamos empresas externas para que nos ayude a hacer la evaluación tecnológica.		1				
21 Usamos colaboradores externos para que nos ayude a desarrollar nuestra tecnología.		1				
22 Empresas externas nos ayudan a evaluar nuestra actividad tecnológica.		1				
23 Trabajamos con universidades en proyectos tecnológicos clave.					4	
24 Trabajamos con institutos de investigación gubernamentales e importantes proyectos tecnológicos.			2			
TOTAL = 69		4	4	33	28	0

Tabla 2: Cuestionario de Ingeniatic Desarrollo S.L

tecnológica (figura 2 y figura 3). Evidentemente esto es una valoración actual y puede cambiar en el tiempo. Esto significa que, por ejemplo, con suficientes inversores externos y avances importantes en tecnología, se podría llegar a la categoría “D” en un periodo relativamente corto. El factor crucial es el conocimiento y comprensión por parte de los directivos o propietarios, de la importancia de tener alta tecnología y equipamiento. Hoy en día, la mayoría de las empresas pertenece al nivel “C”. Aunque dentro de este nivel haya grandes diferencias, desde la que es “simplemente estratégica”, a la que es “tremendamente capaz” en todos los temas estratégicos.

Nivel de capacidad (1-4)	Su puntuación	Total de puntos posibles	Resultado general de la auditoría
1 (A)		0 - 24	Su empresa es débil y está mal preparada para la adquisición, el uso, el desarrollo, etc., de tecnología en la mayoría de las áreas; necesita urgentemente un fuerte plan de mejora.
2 (B)		25 - 48	Su empresa ha desarrollado muy pobremente las capacidades tecnológicas en la mayoría de las áreas: estrategia, búsqueda, adquisición y capacidad para crear. Pero hay alguna fortaleza sobre la que empezar a trabajar.
3 (C)	69 Ingeniatic	49 - 72	Hace un enfoque estratégico de la tecnología. En algunas áreas, la empresa va por detrás de la frontera tecnológica internacional, pero tiene unas fortalezas importantes para crearla.
4 (D)		73 - 96	Su empresa tiene un completo desarrollo en capacidades tecnológicas. En muchas áreas tiene un enfoque creativo y proactivo para la explotación de la tecnología de forma competitiva

Figura 2: Categorías de capacidad tecnológica

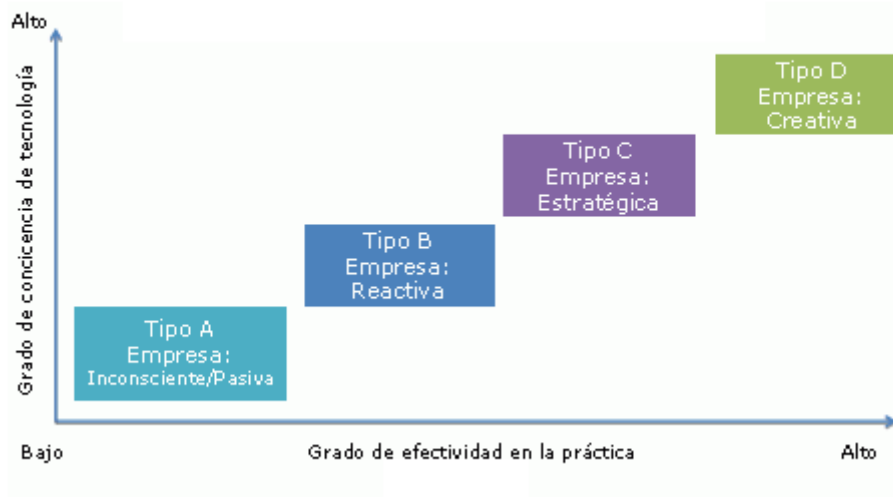


Figura 3: Escalera de niveles de Capacidades Tecnológicas



A continuación, vamos a mostrar las fortalezas y debilidades de la empresa mediante un análisis de las respuestas del cuestionario en detalle, y tomando como referencia las 9 categorías de evaluación de la capacidad enumeradas al inicio de esta sección.

1. Concienciación: Se refiere a la aptitud por parte de los altos directivos para reconocer el rol de la tecnología en la competitividad, y el peligro de quedarse estancado en un medio tan competitivo hoy en día.

Preguntas 1 y 2

A: puntuación total posible; B: la puntuación de Ingeniatic Desarrollo s.l.

Coeficiente =  $(B/A) = 8/8 = 1$

2. Búsqueda: es la capacidad que tiene la empresa para escanear y monitorizar tendencias y eventos tecnológicos externos que puedan afectar a la empresa, o darle oportunidades para crecer en competitividad.

Preguntas 3 y 4

A: puntuación total posible; B: la puntuación de Ingeniatic Desarrollo s.l.

Coeficiente =  $(B/A) = 6/8 = 0.75$

3. Creación de un núcleo de competencias tecnológicas: Esta categoría se refiere al éxito que tiene una compañía en definir sus fortalezas tecnológicas particulares y crear ventajas únicas en áreas específicas. Una empresa con competencias tecnológicas fuertes verá cómo estas le hacen diferente de sus competidores, y también, cómo seguir desarrollando sus capacidades para mantenerse competitiva. Tendrá unos métodos bien desarrollados de protección y explotación de su propiedad intelectual.

Preguntas 5 y 6

A: puntuación total posible; B: la puntuación de Ingeniatic Desarrollo s.l.

Coeficiente =  $(B/A) = 8/8 = 1$

4. Estrategia tecnológica: formular la estrategia tecnológica es clave en la estrategia general del negocio de cualquier firma puntera. Este es un proceso en el que se establecen las visiones, los objetivos y las prioridades y se comunican dentro de la empresa. Ni siquiera la empresa mejor dotada puede hacerlo todo con su tecnología. Por eso, parte del reto subyace en escoger las actividades tecnológicas que llevará a cabo dentro de la empresa y de cuáles se proveerá externamente.

## 1 EMPRENDER DESDE LA UNIVERSIDAD

### Preguntas 7, 8 y 9

A: puntuación total posible; B: la puntuación de Ingeniatic Desarrollo s.l.

Coficiente =  $(B/A) = 9/12 = 0,75$

5. Valorar y seleccionar la tecnología: Las compañías líderes son capaces de recoger información sobre la gama de opciones tecnológicas disponibles, elegir rápidamente entre las soluciones competitivas (por ejemplo: diferentes máquinas, propuestas de suministradores,) e identificar correctamente los recursos que más se adecúan a sus necesidades. Una empresa líder puede comparar entre varias opciones disponibles para posteriormente poder hacer una selección apropiada con toda confianza.

### Preguntas 10 y 11

A: puntuación total posible; B: la puntuación de Ingeniatic Desarrollo s.l.

Coficiente =  $(B/A) = 6/8 = 0,75$

6. Adquirir la tecnología: una vez decidida la opción tecnológica que se va a llevar a cabo, la empresa tiene que hacer uso de sus recursos para su explotación (crear tecnología por medio de I+D interno, adquirirlo de forma compartida o con licencia, etc.). A veces, solo se trata de hacer una compra para uno mismo, otras puede que incluya la explotación de los resultados logrados en la investigación. La mayoría de las empresas líderes tienen desarrollada una buena capacidad de negociar la transferencia de tecnología de fuentes externas y de desarrollar tecnología propia.

### Preguntas 12 y 13

A: puntuación total posible; B: la puntuación de Ingeniatic Desarrollo s.l.

Coficiente =  $(B/A) = 4/8 = 0,5$

7. Implementar y absorber tecnología: una vez adquirida la tecnología, la empresa la tiene que implementar dentro de la organización. Esto requiere de un posterior desarrollo en varias etapas hasta el despegue final, como en los casos en los que se pretende sacar al mercado un nuevo producto o servicio, un nuevo proceso de fabricación o un método de organización. Esto suele traer más innovación a medida que la tecnología se va adaptando y reconfigurando. Una empresa líder necesitará un proyecto de gestión de capacidades bien desarrollado para asegurar una efectiva implementación de la tecnología.

### Preguntas 14 y 15

A: puntuación total posible; B: la puntuación de Ingeniatic Desarrollo s.l.

$$\text{Coeficiente} = (B/A) = 7/8 = 0,875$$

8. Aprendizaje: una parte importante de crear competencias tecnológicas consiste en reflexionar y revisar los proyectos y los procesos tecnológicos en la empresa, para aprender de los éxitos y de los fallos. En las empresas líderes este proceso puede ser consciente y formal, y así, alcanzar una mejora continua en eficiencia y formulación estratégica efectiva. Para averiguar cómo gestionar mejor el proceso tecnológico, la empresa necesita recoger sistemáticamente información relevante de sus propias experiencias y de ajenas, y actuar en consecuencia.

Preguntas 16, 17 y 18

A: puntuación total posible; B: la puntuación de Ingeniatic Desarrollo s.l.

$$\text{Coeficiente} = (B/A) = 10/12 = 0,83$$

9. Explotar los vínculos externos y los incentivos: en cada uno de los 8 puntos anteriores, las empresas pueden, y a veces deben, hacer uso de suministradores externos de tecnología y sus servicios. Las últimas 5 preguntas del cuestionario están relacionadas con los diferentes tipos de empresas u organizaciones que pueden suministrar tecnología, y los correspondientes servicios, a su empresa (empresas de consultoría, institutos de investigación tecnológica gubernamentales o universitarios, etc.). También pueden darnos indicaciones del nivel de tecnología, sofisticación o amplitud de la empresa, o de si tenemos bien desarrollado el sistema externo de suministro de desarrollo tecnológico.

Preguntas 19, 20, 21, 22, 23 y 24

A: puntuación total posible; B: la puntuación de Ingeniatic Desarrollo s.l.

$$\text{Coeficiente} = (B/A) = 11/24 = 0,45$$

El resultado final lo podemos de forma gráfica en la figura 4.

## 1 EMPRENDER DESDE LA UNIVERSIDAD

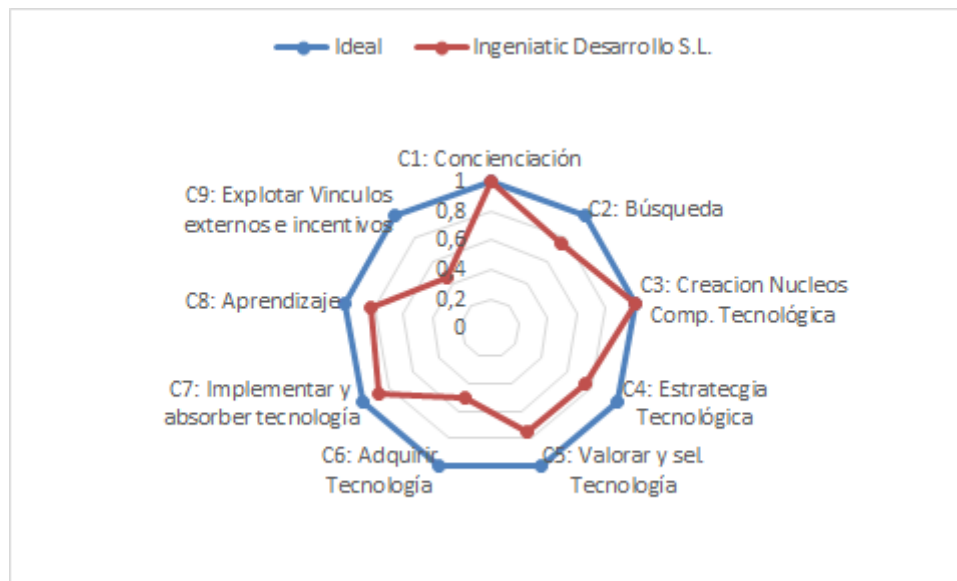


Figura 4: Fortalezas y debilidades de Ingeniatic desarrollo S.L en Capacidad Tecnológica

### 1.5 CONCLUSIONES

Las spin-off utilizan el conocimiento para desarrollar productos y procesos innovadores.

La investigación aplicada es la base de estas empresas, cuya importancia en el momento actual radica en el desarrollo de nuevas tecnologías, la creación de empleo de calidad, la capacidad de generar un alto valor añadido en la actividad económica y la aportación al desarrollo regional.

Nos encontramos ante una época de cambio hacia una Universidad Emprendedora, donde los resultados científicos y tecnológicos de las investigaciones constituyen la materia prima para la creación de empresas basadas en el conocimiento y el desarrollo de tesis doctorales orientadas al mercado.

A pesar de las incertidumbres y riesgos que la rodean la innovación es un fenómeno extendido. Cuando se crea una empresa para explotar comercialmente una innovación y cuando se patenta o se licencia un nuevo producto o proceso, se está difundiendo conocimiento.

La imposibilidad de asegurar la total protección de la propiedad intelectual del conocimiento para quien lo crea, termina por revertir en beneficio de otros que no han incurrido en los costes de producirlo: De aquí las ayudas a las empresas innovadoras.

### 1.6 REFERENCIAS

- [1] Moberg, K. (2014). Two approaches to entrepreneurship education: The different effects of education for and through entrepreneurship at the lower secondary level. *International Journal of Management Education*, 12(3), 512–528. <http://doi.org/10.1016/j.ijme.2014.05.002>
- [2] Bell, R., & Bell, H. (2016). An enterprise opportunity for entrepreneurial students: student enterprise development and experience assessed through the student voice. *Education + Training*, 58(7/8), 751–765. <http://doi.org/10.1108/ET-12-2014-0150>
- [3] Robinson, S., & Shumar, W. (2014). Ethnographic evaluation of entrepreneurship education in higher education; A methodological conceptualization. *International Journal of Management Education*, 12(3), 422–432. <http://doi.org/10.1016/j.ijme.2014.06.001>

- [4] Chang, J., Benamraoui, A., & Rieple, A. (2014). Learning-by-doing as an approach to teaching social entrepreneurship. *Innovations in Education and Teaching International*, 51(5), 459–471. <http://doi.org/10.1080/14703297.2013.785251>
- [5] Testa, S., & Frascheri, S. (2015). Learning by failing: What we can learn from un-successful entrepreneurship education. *The International Journal of Management Education*, 13(1), 11–22. <http://doi.org/10.1016/j.ijme.2014.11.001>
- [6] Mueller, S., & Anderson, A. R. (2014). Understanding the entrepreneurial learning process and its impact on students' personal development: A European perspective. *International Journal of Management Education*, 12(3), 500–511. <http://doi.org/10.1016/j.ijme.2014.05.003>
- [7] Robinson, S., Neergaard, H., Tanggaard, L., & Krueger, N. (2016). New horizons in entrepreneurship: from teacher-led to student-centered learning. *Education + Training*, 58(7/8), ET-03-2016-0048. <http://doi.org/10.1108/ET-03-2016-0048>
- [8] Heckman, J. J., & Masterov, D. V. (2007). The productivity argument for investing in young children. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 29(3), 446-493.
- [9] Ries, E. (2011). *The lean startup: How today's entrepreneurs use continuous innovation to create radically successful businesses*. Crown Books.
- [10] York, J. L., & Danes, J. E. (2014). Customer Development, Innovation, and Decision-Making Biases in the Lean Startup. *Journal of Small Business Strategy*, 24(2), 21-40.
- [11] Schumpeter, J. (1934). *Teoría del desarrollo económico*. Universidad de Harvard. Inglaterra.
- [12] Kanter, R. M. (1983). *The change masters: innovation for productivity in the American mode*. Simon and schuster.
- [13] Echeverría Ezponda, J., & Merino Malillos, L. (2016). Cambio de paradigma en los estudios de innovación: el giro social de las políticas europeas de innovación.
- [14] Trías de Bes, F. (2007). *El libro negro del emprendedor: No digas que nunca te lo advirtieron*. Empresa activa.
- [15] <https://www.blueoceanstrategy.com/> Accedida el 9/04/2019
- [16] Matheson, J. E., & Menke, M. M. (1994). Using decision quality principles to balance your R&D portfolio. *Research-Technology Management*, 37(3), 38-43.)
- [17] World Bank, 2001, *Innovation Capacity Tool: Firm level innovation in the Korean economy*, p.19.
- [18] Bessant, J., & Tidd, J. (2007). *Innovation and entrepreneurship*. John Wiley & Sons.

# CAPÍTULO 2

## CONEXIÓN DE TERMINALES FUERA DE COBERTURA

## 2 CONEXIÓN DE TERMINALES FUERA DE COBERTURA

Las Redes malladas inalámbricas (WMN) han suscitado una gran atención en los últimos años debido a sus ventajas a través del uso de las redes inalámbricas tradicionales con o sin movilidad. Una WMN puede ser vista como una mezcla de redes ad hoc y de infraestructura, con todos los beneficios de dicha arquitectura híbrida. Una red de este tipo mantiene el nivel de señal en largas distancias mediante una serie de saltos más cortos a través de nodos intermedios que no sólo regeneran la señal, sino que actúan cooperativamente y de forma inteligente para ampliar la cobertura de la red y mejorar sus prestaciones. Este capítulo presenta los principales aspectos de diseño y funcionamiento de un protocolo o procedimiento nuevo de conexión que permite la extensión de la cobertura en este tipo de redes para la transmisión de mensajes de datos. El procedimiento incluye mensajes reconocimiento o confirmación de recepción de la información en el nodo de destino y adicionalmente, proporciona un mecanismo de ahorro de energía, para que los nodos móviles intermedios que funcionan principalmente como Gateway reenviando datos desde o hacia los nodos vecinos, no agoten sus baterías. Adicionalmente se presenta una aplicación basada en el protocolo diseñado.

### 2.1 INTRODUCCIÓN

Actualmente toda la sociedad está integrada en la llamada sociedad de la información, que según una de las definiciones de la U.E. es “Una sociedad en la que la creación, distribución y manipulación de la información forman parte importante de las actividades culturales y económicas”. No hay que mirar lejos para observar que diariamente se utiliza la tecnología para comunicarse en todos los diferentes tipos de ámbito social, todas las personas utilizan tecnologías de comunicación casi sin darse cuenta en su quehacer diario: cuando aceptan una llamada con el teléfono móvil o fijo, se consulta el correo electrónico, durante el chat, en la extracción o consulta de dinero en un cajero automático o accesos y consultas a servicios mediante PDA, tabletas, móvil o incluso plataformas portables de videojuegos.

Por otro lado, también tenemos software y comunicaciones en todo tipo de útiles diarios: desde el coche o la calefacción de casa hasta los juguetes de los niños. Todos estos dispositivos son susceptibles de intercomunicarse entre sí y, aunque pueden hacerlo por los sistemas de cables tradicionales, su mayor potencial se alcanza a través de las comunicaciones inalámbricas.

Multitud de estos aparatos electrónicos utilizan hoy en día diferentes sistemas inalámbricos con tendencia a utilizar más de una interfaz inalámbrica en un mismo dispositivo para lograr la máxima interconectividad posible entre dispositivos.

Las tecnologías inalámbricas más extendidas en la actualidad son las tecnologías WiFi, Bluetooth, red GSM/3G, infrarrojos, WiMAX... Las ventajas principales de las tecnologías inalámbricas son fundamentalmente su base en estándares internacionales, algunas operan en bandas libres de frecuencia, permiten aplicaciones de alta capacidad por encima de los 50Mbps a costes razonables tanto en interior como exterior. Mientras que los dos inconvenientes más importantes son la seguridad e integridad de los datos transmitidos y la limitación de alcance por falta de cobertura.

El protocolo descrito en este capítulo aborda un tema muy actual relacionado con la problemática de la cobertura en los servicios inalámbricos. En multitud de ocasiones cuando se

## 2 CONEXIÓN DE TERMINALES FUERA DE COBERTURA

hace uso de la tecnología inalámbrica es apreciable que incluso con todos los avances actuales que permiten tener una gran experiencia multimedia o una comunicación perfecta con otra persona situada en cualquier lugar; las cuales hacen usos de las últimas tecnologías de codificación, multiplexación, cifrado... son inútiles ante el simple hecho de que se esté en un punto sin cobertura inalámbrica a pesar de que existen ocasiones donde desplazarse una pequeña distancia permita hacer uso de todas estas tecnologías.

La reciente emergencia desde un punto de vista económico de las comunicaciones inalámbricas, así como de los dispositivos informáticos portátiles, junto con los avances en infraestructuras de comunicación ha permitido un gran crecimiento de las redes móviles. Este auge prácticamente exponencial de las redes celulares se ha basado en una combinación de tecnologías cableadas e inalámbricas.

Sin embargo, el interés tanto de la industria como de la comunidad científica en el campo de las telecomunicaciones ha cambiado recientemente hacia el desarrollo de sistemas móviles donde algunas partes de la red carecen de infraestructura fija. En este sentido, las redes ad hoc se han convertido en la tecnología de vanguardia en las redes de comunicaciones móviles. De hecho, estas redes constituyen el primer paso para proporcionar soluciones a un coste razonable con anchos de banda dinámicos en áreas de cobertura específicas, ya que permiten la interconexión de los nodos de la red usando directamente transceptores inalámbricos (por lo general a través de caminos con múltiples saltos) sin la existencia de una infraestructura fija. Esta es una característica muy distintiva de las redes ad hoc en comparación con redes inalámbricas tradicionales como las celulares o inalámbricas de área local (WLAN), donde los nodos se comunican entre sí sólo a través de las estaciones fijas y conocido como modo infraestructura.

Las redes malladas inalámbricas (WMN) combinan la mezcla de redes tipo infraestructura con redes ad hoc. De esta forma y partiendo de un comportamiento base tipo infraestructura, se posibilita la conexión de dispositivos fuera del alcance del punto de acceso o estación base, a través de dispositivos que de forma directa o indirecta están dentro del alcance de cobertura del punto de acceso. Actualmente, el cuello de botella de esta tecnología se encuentra en el protocolo adecuado que posibilite dicha conexión, la eficiencia energética de la comunicación y el consumo energético de los nodos. Por ello la propuesta y desarrollo de protocolos de comunicación energéticamente eficientes es sin duda una gran contribución al desarrollo global de la tecnología.

En los últimos años las WMN se han convertido en un campo de gran actividad investigadora debido a su naturaleza, como ya se ha comentado, y su potencial de aplicaciones en múltiples escenarios [1], [2]. Además, pueden desplegarse en teoría, sobre casi cualquier tecnología inalámbrica existente como WIFI, WIMAX, 3G, LTE, etc. y coexistir [3]. Por lo que, a pesar de que el concepto híbrido celular/ad hoc no es nuevo [4], [5], se le presume un aspecto ubicuo y una línea de gran interés e investigación en los próximos años.

De hecho, estamos siendo testigos del progreso continuo en técnicas de enrutamiento, protocolos basados en la asignación de canal y el aumento de las tasas de transferencia en las WMN [6], [7]. Asimismo, la implementación de protocolos proactivos, reactivos e híbridos para la optimización de los tráficos en la red también está atrayendo gran atención, como en [8]. Sin embargo, hay varios aspectos relacionados con la optimización de la disposición los recursos en términos de ahorro y consumo de energía en las WMN que actualmente representan un desafío para la comunidad científica. Por lo que, aunque problemas más complejos de las WMN como los relacionados con el comportamiento de los nodos [9]o la seguridad [10] están siendo



adecuadamente tratados, los problemas relacionados con el consumo de energía siguen siendo en la actualidad un gran freno para esta tecnología. El protocolo presentado en este artículo aporta luz suficiente para abordar el despliegue de redes WMN con extensión de cobertura atendiendo las necesidades de ahorro de energía requeridas. [11].

## 2.2 ESCENARIO DE REFERENCIA

En el escenario inicial (Fig. 1) se define como núcleo de red a un equipo único (servidor, punto de acceso o estación base) que supervisará en todo momento el funcionamiento de la red. Dispondrá de una interfaz inalámbrica y será el responsable de crear y mantener una red en modo infraestructura a la que se conectarán los diversos nodos que se agreguen a la red. Este equipo se comunicará con los terminales móviles haciendo uso de una red con topología punto a multipunto o también llamada red en modo infraestructura. Todo el tráfico generado por los nodos se dirigirá siempre a este equipo, siendo así posible el control y tarificación de todos los envíos de datos entre terminales móviles.

Asimismo, se define como nodo o terminal móvil, a un equipo portátil y que esté alimentado por baterías, por lo que estará claramente definido por una baja capacidad de procesamiento y unos recursos energéticos limitados. El número máximo de nodos por red en principio no es limitado, quedando posteriormente limitado por la implementación y administración por parte del núcleo de red de los nodos. Un nodo dispondrá de dos interfaces inalámbricas, utilizándose una de ellas para la conexión directa con el núcleo de red y otra para que los terminales se comuniquen entre ellos haciendo uso de una red con una topología de nodos multipunto o también llamada red *ad hoc*.

Como se ha indicado cada nodo de la red tendrá acceso a dos redes inalámbricas, una configurada en modo infraestructura con el servidor, y otra en modo *ad hoc* con conexión directa con los nodos vecinos de su alrededor.

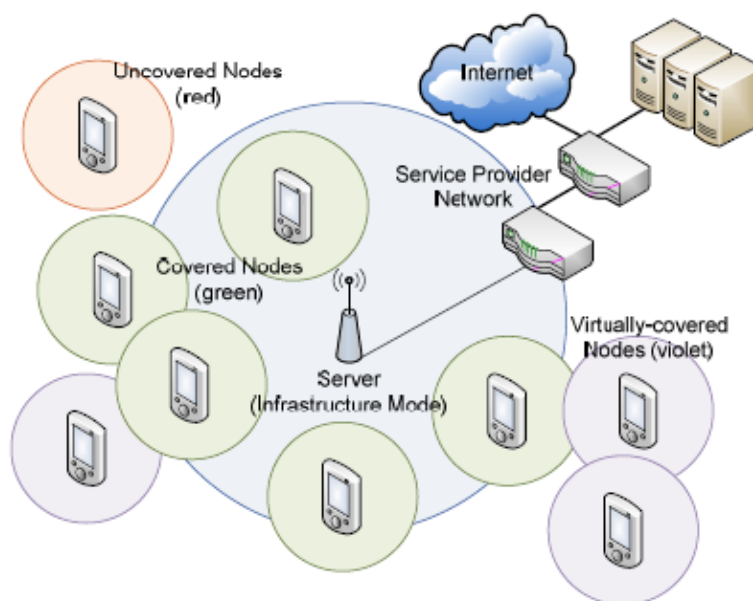


Fig. 1. Entorno de referencia para el funcionamiento del protocolo

## 2 CONEXIÓN DE TERMINALES FUERA DE COBERTURA

Para que este escenario sea implementado correctamente, se supone que los nodos que tienen acceso al servicio están motivados para actuar desinteresadamente [9]. Por lo que se considerará que los usuarios cooperan favoreciendo el correcto funcionamiento del protocolo y que en la práctica se traduce en que el usuario tiene activado por defecto en su terminal ciertos componentes software o hardware.

### 2.3 ESPECIFICACIÓN DEL PROTOCOLO

Cuando un terminal móvil genere un mensaje para cualquier otro terminal existirán dos posibilidades de realizar el envío:

- Si el terminal móvil que genera el mensaje está dentro del radio de cobertura del núcleo de red, el terminal enviará directamente el mensaje hacia el núcleo de red, con la consiguiente confirmación de la recepción por parte del núcleo de red.
- Sin embargo, si el terminal móvil no tiene conexión directa con el núcleo de red, difundirá el mensaje a la red por la interfaz configurada como ad hoc.

Cualquier mensaje de datos generado y enviado por un terminal móvil se direccionará siempre hacia el núcleo de red. Cuando un terminal móvil recibe un mensaje de otro terminal móvil; se limitará a actuar como una terminal pasarela, por lo que no analizará el mensaje. Simplemente se limitará a reenviar el mensaje para hacerlo llegar al servidor. Las consecuencias que se deducen de este comportamiento es que se obtiene como ventaja que se garantiza que todos los mensajes de datos serán correctamente cuantificados y tarificados por el servidor. Asimismo, podemos asegurar que no habrá saturación en los nodos por esta operación tipo ad hoc, ya que los datos transmitidos por medio de esta red serán difundidos sin ningún tipo de procesamiento o análisis. Mientras que como inconveniente se produce una mayor utilización de recursos, en comparación con el caso en que el terminal móvil analizara el mensaje y lo aceptara como propio al ir dirigido a él; evitando así su propagación hacia el servidor.

Pueden existir multitud de terminales móviles que actúen como pasarela entre el servidor y los terminales móviles origen y destino, por lo que no tiene por qué existir solamente uno.

Cuando el servidor tiene un mensaje para algún nodo, difunde un mensaje de testeo para conocer si el nodo destinatario está dentro de su área de cobertura.

- En caso afirmativo se procederá al envío selectivo del mensaje hacia el nodo destinatario, contestando este último con un mensaje de confirmación en la recepción.
- En caso contrario se realizará una búsqueda del destinatario haciendo uso de la red ad hoc creada por los nodos mediante la técnica de múltiples saltos. Existiendo dos posibles casos:
  1. Si el destinatario es localizado, el servidor enviará los datos haciendo uso del mecanismo de múltiples saltos.
  2. Si el destinatario no es localizado, el servidor almacenará los datos para su posterior reintento.

Existen dos estrategias para el envío de los mensajes en los casos en los que el núcleo de red necesite utilizar múltiples saltos para llegar a nodos que son inaccesibles por comunicación directa:

- Opción A. Cuando se realice la localización del terminal móvil, conforme se vaya encaminando el mensaje de respuesta hacia el servidor ir almacenando la ruta (la cual va recorriendo el mensaje) dentro del mensaje de respuesta. Para que a continuación el servidor envíe el mensaje de datos por esa misma ruta. Con esto se obtiene una mayor

optimización de los recursos energéticos, por el contrario, se produce una comunicación más inestable debido a que si cualquiera de los nodos utilizados para encaminar el mensaje hacia el destino se desplaza significativamente, la conexión será infructuosa. Esto producirá que el mecanismo de envío utilizado por el protocolo deba realizar todos los pasos anteriores para intentar transmitir el paquete de nuevo. Este problema es frecuente en redes con una velocidad movilidad muy alta, como puede ser el caso que los terminales móviles estén dentro de vehículos.

- Opción B. Cuando se realice la localización del terminal móvil destinatario, ignorar la ruta por la cual se accedió a él. Por lo que el mensaje de respuesta solamente nos indicará la existencia o no de la conectividad con el terminal móvil destino. Con ello se obtiene un desaprovechamiento energético de la red debido a que el mecanismo de difusión del mensaje afectará a un número mayor de dispositivos. Sin embargo, se obtiene la ventaja de asegurar con alta probabilidad la recepción del mensaje por parte del destinatario, independientemente del tipo de red que sea, ya que será un protocolo más flexible a cambios en la red.

El protocolo presentado en este artículo utiliza la opción B como estrategia, favoreciendo en este caso la fiabilidad sobre el rendimiento energético.

Adicionalmente el protocolo incluye un mecanismo de ahorro de energía que actúa sobre los nodos que actúan de pasarela difundiendo mensajes de otros nodos hacia o desde el servidor al tener una localización cercana al borde del área de cobertura de la red en modo infraestructura. Este mecanismo consiste en anular la función de reenvío o difusión de mensajes en función del valor de un contador de reenvíos y la carga actual de la batería del nodo.

Finalmente se utilizan dos mecanismos para evitar el colapso de la red:

- Cada mensaje incorpora un contador de saltos, limitando el número de saltos que puede dar.
- Cada mensaje incorpora un identificador único que evitará que un mismo terminal reenvíe varias veces el mismo mensaje, evitando así bucles infinitos.

### 2.4 INTERCAMBIO DE MENSAJES DEL PROTOCOLO

A continuación, se mostrará el intercambio de mensajes del protocolo ante diversas localizaciones de los terminales móviles respecto al servidor. Se hará referencia al terminal que genera el mensaje como “Cliente origen” y al terminal destinatario como “Cliente destino”. En algunos casos aparece un terminal denominado como “Cliente pasarela”, debido a que actúa como pasarela entre los terminales y el servidor.

Caso 1 (Figura 2 y Figura 3): Un terminal móvil quiere establecer una conexión hacia otro terminal, existiendo sendas conexiones directas con el núcleo de red. Considerándose independiente la conexión directa entre los terminales.

## 2 CONEXIÓN DE TERMINALES FUERA DE COBERTURA

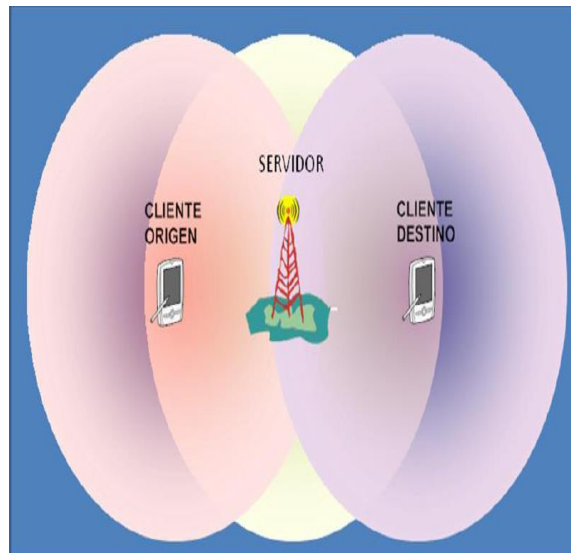


Figura 2: Escenario caso 1

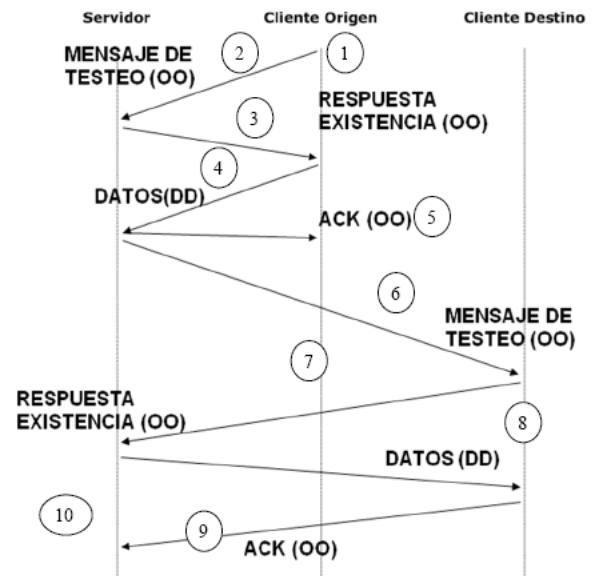


Figura 3: Intercambio de mensajes caso 1

1. Un terminal genera un mensaje de datos para otro terminal perteneciente a la red.
2. El terminal envía un mensaje de testeo para conocer la disponibilidad del servidor.
3. El servidor responde al mensaje de testeo.
4. El cliente envía el mensaje de datos hacia el servidor; puesto que tiene visibilidad directa con este; se lo envía al servidor sin utilizar ningún terminal como intermediario.
5. El servidor almacena los datos recibidos.
6. El servidor envía un mensaje de testeo para conocer la disponibilidad del cliente destino.
7. El cliente destino envía un mensaje de existencia para darse a conocer al servidor.
8. El servidor envía el mensaje de datos hacia el cliente destino.
9. El cliente destino envía un mensaje ACK (reconocimiento) al servidor para informarle que se recibieron los datos.
10. El servidor elimina los datos almacenados en su memoria.

Caso 2 (Figura 4 y figura 5): Un terminal móvil quiere establecer una conexión hacia otro terminal, existiendo una conexión directa desde el terminal generador con servidor. El terminal destinatario no tiene conexión directa con el servidor, pero sin embargo puede realizar una conexión utilizando otros terminales como intermediarios, donde uno o más de ellos disponen de conexión directa con el servidor.

## 2 CONEXIÓN DE TERMINALES FUERA DE COBERTURA

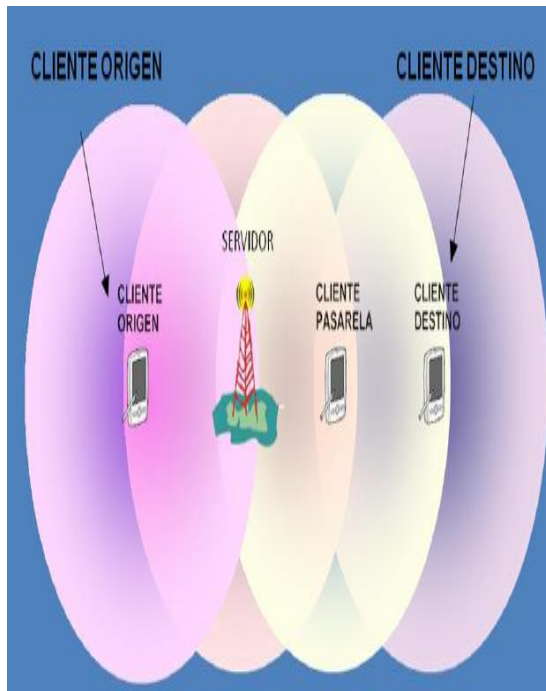


Figura 4: Escenario caso 2

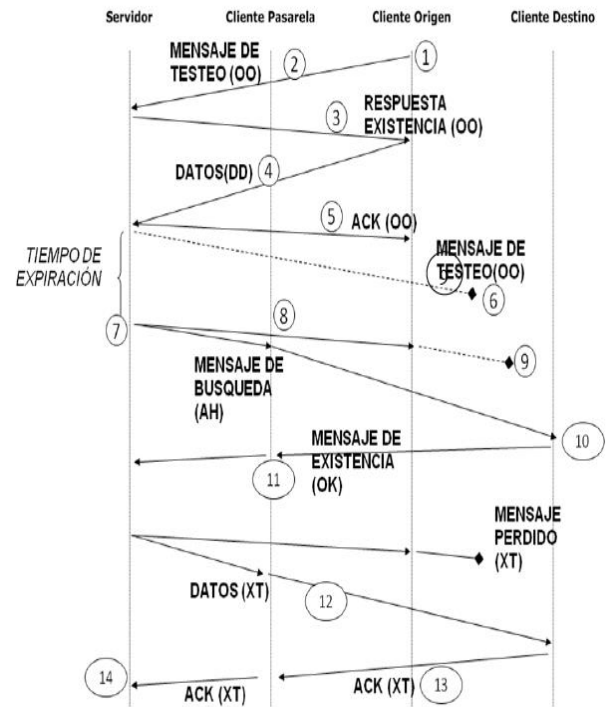


Figura 5: Intercambio de mensajes en el caso 2

1. Un terminal genera un mensaje de datos para otro terminal perteneciente a la red.
2. El terminal envía un mensaje de testeo para conocer la disponibilidad del servidor.
3. El servidor responde al mensaje de testeo.
4. El cliente envía el mensaje de datos hacia el servidor; puesto que tiene visibilidad directa con este; se lo envía al servidor sin utilizar ningún terminal como intermediario.
5. El servidor almacena los datos y comienza la búsqueda del cliente destino.
6. Expira el tiempo máximo de espera en el que el cliente destino debería haber contestado al mensaje de testeo enviado por el servidor.
7. El servidor inicia la búsqueda del cliente destino mediante mensaje de búsqueda. Estos mensajes se propagan por la red utilizando el mecanismo de múltiples saltos.
8. El cliente pasarela y el cliente origen reciben el mensaje de búsqueda. Estos clientes a su vez reenvían el mensaje y lo registran para evitar reenviarlo de nuevo. Cada vez que se envían estos mensajes se decrementa el contador de saltos en una unidad.
9. El cliente origen no consigue transmitirlo a ningún otro cliente.
10. El mensaje de búsqueda emitido por el cliente pasarela llega al cliente destino
11. El cliente destino envía un mensaje especial de existencia, el cual se propaga por la red utilizando el mecanismo de múltiples saltos.
12. El servidor envía los datos hacia el cliente destino, haciendo uso nuevamente del multihopping.
13. El cliente destino envía un mensaje especial ACK, el cual se propaga mediante multihopping. Hasta llegar al servidor.
14. El servidor elimina los datos almacenados en memoria.

Caso 3 (Figura 6 y Figura 7): Un terminal móvil quiere establecer una conexión hacia otro terminal. En este caso no existe una conexión directa desde el terminal generador con servidor de red, sin embargo, puede realizar una conexión utilizando otros terminales como intermediarios, donde uno o más de ellos disponen de conexión directa con el servidor. En este caso el terminal destinatario si dispone de conexión directa con el servidor.

## 2 CONEXIÓN DE TERMINALES FUERA DE COBERTURA

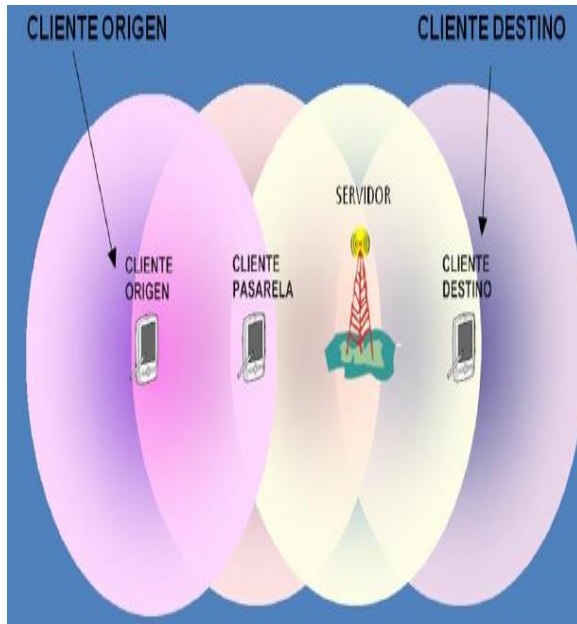


Figura 6: Escenario caso 3

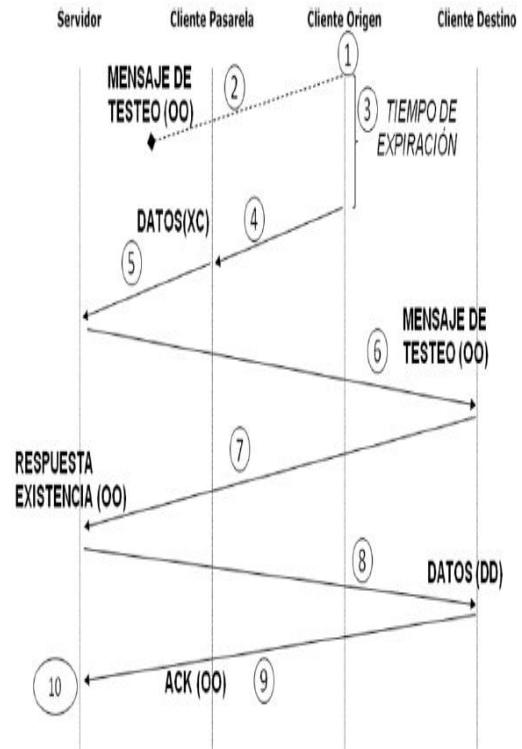


Figura 7: intercambio de mensajes en el caso 3

1. Un terminal genera un mensaje de datos para otro terminal perteneciente a la red.
2. El terminal envía un mensaje de prueba para conocer la disponibilidad del servidor.
3. Expira el tiempo máximo de respuesta por parte del servidor, debido a que el cliente origen no dispone de conexión directa con el servidor
4. El terminal envía su mensaje de datos mediante múltiples saltos, llegando el mensaje al cliente pasarela. El cliente origen desconocerá si el mensaje fue recibido por el servidor, debido a que no se producirá un mensaje de respuesta desde el servidor.
5. El cliente pasarela reenvía el mensaje automáticamente, llegando este al servidor
6. El servidor almacena los datos y comienza la búsqueda del cliente destino
7. El cliente destino envía un mensaje de existencia para darse a conocer al servidor
8. El servidor envía el mensaje de datos hacia el cliente destino.
9. El cliente destino envía un reconocimiento al servidor para informar que se recibieron los datos.
10. El servidor elimina los datos almacenados de su memoria.

Caso 4 (Figura 8 y Figura 9): Un terminal móvil quiere establecer una conexión hacia otro terminal. En este caso no existe una conexión directa ni desde el terminal generador ni desde el terminal destinatario con el servidor de red, sin embargo, ambos terminales pueden realizar una conexión utilizando otros terminales como intermediarios, donde uno o más de ellos disponen de conexión directa con el servidor.

## 2 CONEXIÓN DE TERMINALES FUERA DE COBERTURA

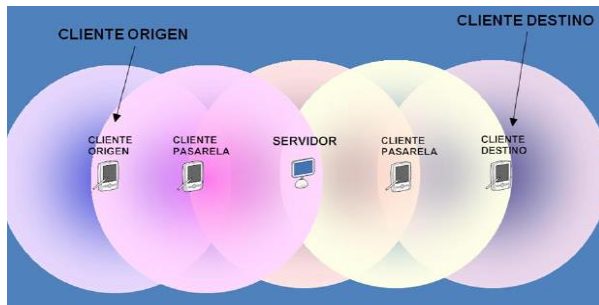


Figura 8: Escenario caso 4

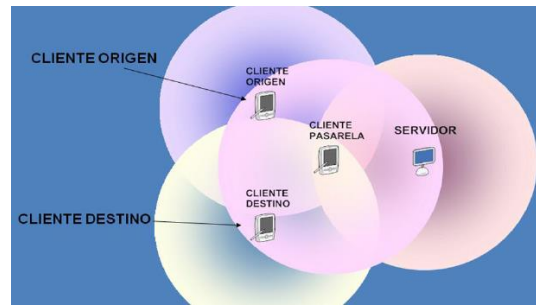


Figura 9: Escenario caso 4 alternativo

A pesar de la divergencia que existe entre las situaciones de la figura 8 y la figura 9, el sistema de funcionamiento será exactamente el mismo. La única diferencia reside en utilizar un cliente pasarela distinto para el cliente destino y el cliente origen (figura 8) o bien utilizar un cliente pasarela común para ambos (figura 9).

Este caso se puede resolver como un caso combinado del caso 2 y 3; anteriormente explicados; ya que ambos clientes no tienen acceso directo con el servidor. En este caso omitimos la ilustración del intercambio de mensajes, aunque los enumeramos a continuación:

1. Un terminal genera un mensaje de datos para otro terminal perteneciente a la red.
2. El terminal envía un mensaje de testeo para conocer la disponibilidad del servidor.
3. Expira el tiempo máximo de respuesta por parte del servidor, debido a que el cliente origen no dispone de conexión directa con el servidor
4. El terminal envía su mensaje de datos mediante múltiples saltos, llegando el mensaje al cliente pasarela. El cliente origen desconocerá si el mensaje fue recibido por el servidor, debido a que no se producirá un mensaje de respuesta desde el servidor.
5. El cliente pasarela reenvía el mensaje automáticamente, llegando este al servidor
6. El servidor almacena los datos y comienza la búsqueda del cliente destino.
7. Expira el tiempo máximo de espera en el que el cliente destino debería haber contestado al mensaje de testeo enviado por el servidor.
8. El servidor inicia la búsqueda del cliente destino mediante mensaje de búsqueda. Estos mensajes se propagan por la red utilizando el mecanismo de múltiples saltos.
9. El cliente pasarela y el cliente origen reciben el mensaje de búsqueda. Estos clientes a su vez reenvían el mensaje y lo registran para evitar reenviarlo de nuevo. Cada vez que se envían estos mensajes se decrementa el contador de saltos en una unidad.
10. El cliente origen no consigue transmitirlo a ningún otro cliente.
11. El mensaje de búsqueda emitido por el cliente pasarela llega al cliente destino y este o envía un mensaje especial de existencia, el cual se propaga por la red utilizando el mecanismo de múltiples saltos.
12. El servidor envía los datos hacia el cliente destino, haciendo uso nuevamente de múltiples saltos.
13. El cliente destino envía un mensaje especial ACK, el cual se propaga mediante múltiples saltos hasta llegar al servidor.
14. El servidor elimina los datos almacenados en memoria.

## 2 CONEXIÓN DE TERMINALES FUERA DE COBERTURA

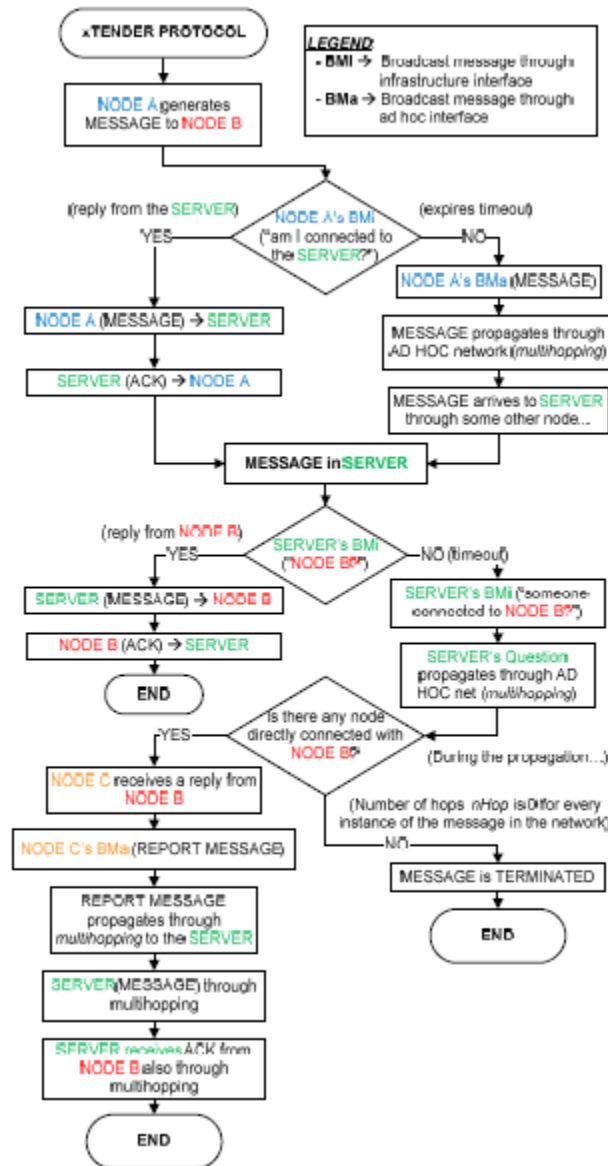


Figura 10: Diagrama de flujo del protocolo

### 2.5 DEFINICIÓN DE LOS MENSAJES.

Después de haber descrito el comportamiento del protocolo, ahora vamos a definir los distintos mensajes a utilizar junto con sus características. Inicialmente haremos una clara división hacia su clasificación: por un lado, podemos encontrar esos mensajes que se transmiten directamente entre cualquier nodo y el servidor. Serán llamados mensajes directos. Por otro lado, tenemos mensajes que se propagan a través de la red utilizando técnicas de multisalto, para la comunicación entre terminales, los cuales llamamos mensajes indirectos. En este punto, es obvio que cada vez que un terminal recibe uno de estos mensajes, lo retransmitirán utilizando difusión, excepto cuando el propio nodo es el terminal de destino. Hay diferentes tipos de mensajes dentro de cada familia, y los podemos diferenciar a través de las distintas funciones que realizan: 1) Transmisión de datos 2) Confirmación de recepción 3) Búsqueda de nodos. Los mensajes directos (DM) pueden ser enviados por el servidor y los nodos. Cada mensaje incluye, en el mejor de los casos, con los siguientes campos: tipo de mensaje (ToM), dirección de origen



(Src), dirección de destino (Dst), identificador único (ID), longitud de datos (Len) y los datos en sí (datos). La tabla I a continuación presenta cada subtipo de mensaje junto con sus campos específicos:

TABLE I DIRECT MESSAGES FIELDS

<i>Message subtype</i>	<i>ToM</i>	<i>Src</i>	<i>Dst</i>	<i>ID</i>	<i>Len</i>	<i>Data</i>
<i>Data Transmission</i>	*	*	*	*	*	*
<i>Receipt Confirmation</i>	*	*	*	*		
<i>Node search</i>	*		*			

Los mensajes indirectos (IM) solo se utilizan para la comunicación entre terminales y sólo serán enviados por el servidor, a través de técnicas multisalto. Así, si el servidor recibe uno de estos mensajes, lo borrará inmediatamente. Los campos presentes en los mensajes (IM) son los mismos que los de los DM, incluyendo además el número de saltos (nHop), indicando en cada caso el número máximo de saltos restantes para un mensaje antes de que sea descartado por los nodos, como acción de control de saturación. Este mecanismo es muy similar al conocido campo TTL (Time To Live) que se encuentra en muchos sistemas de comunicaciones y protocolos. La Tabla II a continuación presenta cada subtipo de mensajes IM junto con los campos específicos.

TABLE II INDIRECT MESSAGES FIELDS

<i>Message subtype</i>	<i>ToM</i>	<i>Src</i>	<i>Dst</i>	<i>ID</i>	<i>Len</i>	<i>Data</i>	<i>nHop</i>
<i>Data Transmission</i>	*	*	*	*	*	*	*
<i>Receipt Confirmation</i>	*	*	*	*			*
<i>Node search</i>	*		*				*

En tal escenario, nunca hay sobrecarga de señalización ya que los nodos se comunican entre sí a través de un mecanismo de inundación, como se explicó anteriormente, es decir, usando mensajes transmitidos. Así, los datagramas (ver Figura 11) no necesitan campos adicionales para los nodos con el fin de conocer la ruta en cada caso (lo que causa una sobrecarga de señalización, afectando al rendimiento global del sistema) ya que ni siquiera necesitan procesar cabeceras especiales para transmitir o recibir mensajes dentro de la red ad hoc: simplemente difunden cada mensaje tal como les llega.

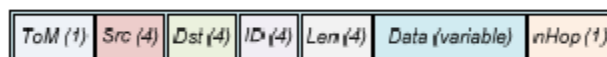


Figura 11: Estructura de los mensajes (#bytes)

## 2.1 EVALUACIÓN DEL PROTOCOLO

El protocolo se ha desarrollado, implementado y validado utilizando el lenguaje de especificación y descripción (SDL) y la rama de herramientas de SDL (incluyendo SDL Simulator y SDL Validator).

### 2.1.1 Parámetros de simulación

Algunas variables de entorno representativas fueron declaradas externamente al inicio para analizar el comportamiento del protocolo y su eficiencia. Se utilizaron para lanzar simulaciones paramétricas en las que la variación de uno o más de ellos hicieron posible obtener resultados más interesantes. A continuación, se presentan cada una de las variables del entorno de simulación junto con su significado y función:

## 2.1 EVALUACIÓN DEL PROTOCOLO

nNodes: Indica el número de nodos presentes en una simulación dada. NConnc: Establece el número máximo de conexiones entre nodos, y, por lo tanto, el número máximo de nodos que estarían dentro del área de cobertura de cada nodo. PG: Representa la probabilidad de que un nodo genere un mensaje para otro en un momento dado. PC: Representa la probabilidad de una conexión directa entre los nodos y el servidor. MaxHop. Define el número máximo de saltos que un mensaje puede realizar. IndTired: indica el incremento de la tasa de cansancio de cada nodo cada vez que transmite o difunde un mensaje indirecto. Sleep: Indica cuánto tiempo permanecerá un nodo inactivo debido a su cansancio. (Estas dos últimas variables están relacionadas con el ahorro de energía)

### 2.1.2 Evaluación del rendimiento del protocolo

Todos los resultados mostrados en esta sección surgen de la ejecución de un conjunto de simulaciones con los mismos parámetros, pero distinta semilla, para que cada resultado sea consistente con el promedio de esas simulaciones en cada caso. Se han realizado las siguientes simulaciones:

#### 2.1.2.1 Evolución del tráfico variando el parámetro PG

La Tabla III a continuación muestra un escenario de simulación específico para estudiar la evolución del tráfico de la red cuando la probabilidad de generación de mensajes por parte de los nodos, PG, varía de 0 a 1.

TABLE III. PARAMETER VALUES FOR SIMULATION 1

Parameter	Value	Parameter	Value
nNodes	15	nConnc	3
PC	0.3	maxHop	4
PG	Variable	indTired	Disabled

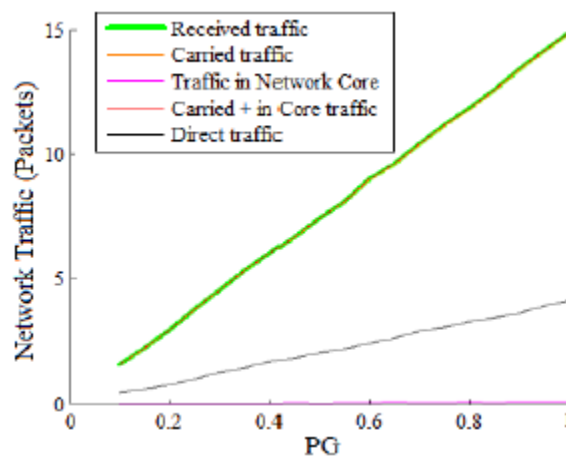


Figura 12: Evolución del tráfico de red en función del parámetro PG

Como puede verse en la Figura12, obviamente todos los tipos de tráfico se incrementan linealmente con la generación de tráfico. Además, en este caso todo el tráfico generado se cursa con éxito ya que tiene acceso directo o indirecto a todos los nodos. Sin embargo, el único tráfico que podría haber sido cursado sin el protocolo propuesto corresponde a la línea negra (tráfico directo) en la figura. En este caso, cabe destacar que el uso del protocolo resulta en un incremento constante de alrededor del 350% del volumen de tráfico cursado llegando a un máximo del 383% para PG = 0.2, como se puede ver en la Figura 13 a continuación.

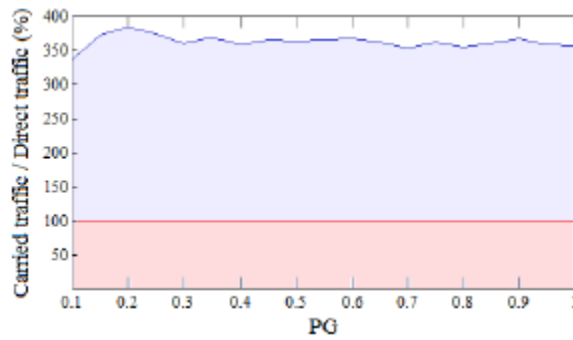


Figura 13: Comparación del tráfico cursado utilizando el protocolo propuesto

### 2.1.2.2 Evolución del tráfico variando el parámetro nConnec

En este caso, los parámetros de simulación mostrados en la Tabla IV se ajustan para estudiar la evolución del tráfico de la red cuando el número máximo de conexiones entre nodos nConnec, varía de 0 a 10.

TABLE IV. PARAMETER VALUES FOR SIMULATION 2

Parameter	Value	Parameter	Value
<i>nNodes</i>	15	<i>nConnec</i>	Variable
<i>PC</i>	0.125, 0.25	<i>maxHop</i>	10
<i>PG</i>	0.5	<i>indTired</i>	Disabled

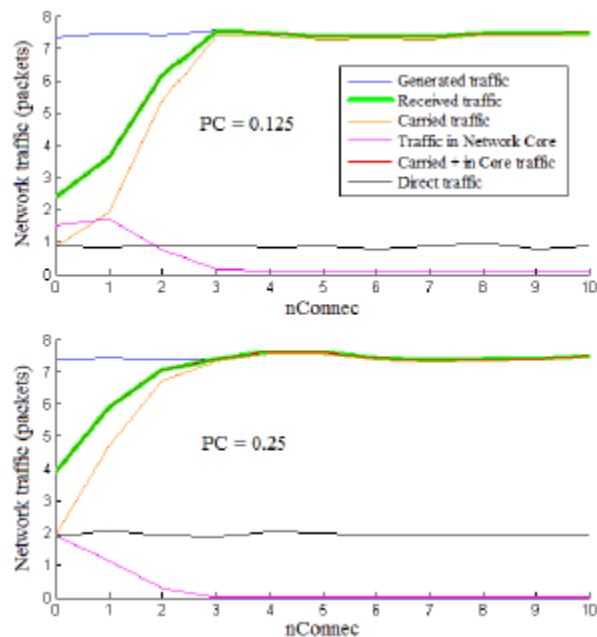


Figura 14: Evolución del tráfico de red en función de nConnec para PC =0,125 y PC = 0,25

La figura 14 muestra la evolución del tráfico variando el parámetro nConnec. Esta simulación tenía como objetivo analizar cuantitativamente el efecto de aumentar el número de conexiones entre nodos. Las conclusiones son simples pero muy significativas: casi todo el tráfico generado se realiza con un promedio de 3 conexiones entre nodos, aunque hay una conectividad baja con el servidor en las simulaciones (20% y 40% respectivamente).

## 2.1 EVALUACIÓN DEL PROTOCOLO

### 2.1.2.3 Evolución del tráfico variando el parámetro indTired

Esta tercera simulación se llevó a cabo para probar la utilidad y eficiencia del mecanismo de ahorro de energía desarrollado en el protocolo. A continuación, la tabla V muestra la lista de parámetros utilizados en esta simulación.

TABLE V. PARAMETER VALUES FOR SIMULATION 3

<i>Parameter</i>	<i>Value</i>	<i>Parameter</i>	<i>Value</i>
<i>nNodes</i>	15	<i>nConnec</i>	3
<i>PC</i>	0.4	<i>maxHop</i>	3
<i>PG</i>	0.8	<i>indTired</i>	Variable

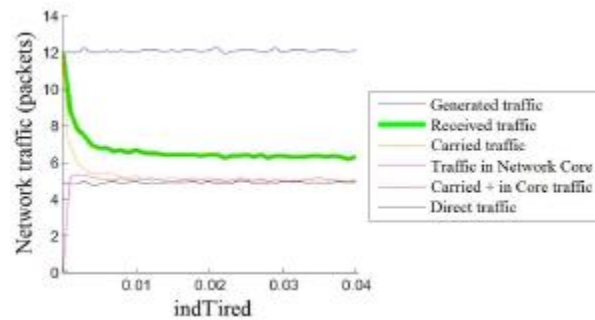


Figura 15: Evolución del tráfico de red en función del parámetro indTired

La figura 15 muestra el efecto del mecanismo de ahorro de energía implementado en la evolución del tráfico de la red. Aquí, a medida que crece la tasa de cansancio de los nodos, también lo hace la tasa de pérdida, aunque en menor medida desde el valor 0.01 del índice. Como ya se comentó anteriormente, las pérdidas son debidas a la existencia de nodos que no tienen conexión directa con el servidor. Es decir, cuando transmiten datos y los nodos cercanos a ellos están inactivos (muy cansados de retransmitir tráfico de otros que consumen su energía) el tráfico se pierde. De estas simulaciones, podríamos decir que un valor entre 0 y 0.01 para el parámetro de índice de cansancio sería aceptable en términos de pérdidas de tráfico. En este sentido, la selección de un valor mayor o menor es una decisión de diseño puro dependiendo de cada despliegue de red, requisitos autonomía de los dispositivos. Por lo tanto, al diseñar una red usando este protocolo cooperativo, este parámetro indTired debe ser elegido cuidadosamente para alcanzar un compromiso entre las pérdidas y el ahorro energético de los nodos.

## 2.2 CONCLUSIONES

En este trabajo hemos mostrado el diseño y la forma de llevar a la práctica un protocolo cooperativo que permite la extensión de cobertura en redes malladas inalámbricas (WMN). El protocolo incluye mecanismos de ahorro energético para los terminales que actúan de pasarela reenviando mensajes para otros terminales destino a través de nodos cercanos. La ventaja de usar este protocolo es el incremento sustancial de tráfico en la red gracias a las capacidades de extensión de cobertura. Ello es posible gracias a la configuración óptima de los parámetros involucrados en conjunción con el mecanismo descrito de funcionamiento para cada caso posible. El diseño es absolutamente genérico, de tal manera que es posible aplicarlo a cualquier sistema de comunicación cliente-servidor-cliente, como es una red WIFI convencional, una red WIMAX o un sistema de telefonía móvil. En el caso concreto de las simulaciones mostradas los nodos se conectaban con tecnología WIFI.

Varias ventajas importantes surgen de su funcionamiento por inundación, por ejemplo, una mayor fiabilidad o mejor auto-reconfiguración, etc.). Sin embargo, el uso intensivo de estas técnicas podría incurrir en un consumo excesivo de energía de los nodos, que en caso de ser móviles (lo habitual), las baterías se verían comprometidas. Por esta razón, la implementación de un mecanismo eficiente de ahorro de energía en protocolo en sí es de vital importancia para minimizar impacto de su naturaleza innata consumidora de energía. Así, la idea principal consiste en alcanzar un compromiso entre el ahorro de energía derivado de no tener que encaminar ni procesar paquetes de datos de otros nodos, y el número de transmisiones derivadas del uso de este mecanismo para evitar pérdidas y mejorar el tráfico cursado. Teniendo todo esto en cuenta, es obvio que este protocolo no sería adecuado para todas las aplicaciones posibles ya que los requisitos de batería son bastante altos, pero hay muchos escenarios (donde las baterías no son el cuello de botella de la red) en el que este protocolo podría ser perfectamente utilizado para explotar todas sus ventajas potenciales sobre un protocolo WMN, por ejemplo, en términos de mejoras de tráfico cursado, mayor robustez o extensión de cobertura, entre muchas otras.

Es común que las compañías de telefonía móvil, cuando instalan sus redes alcanzan el 80% de cobertura de manera relativamente sencilla, pero aumentar esa cobertura hasta el 95% llega a ser una tarea muy difícil y costosa. El uso de este protocolo podría conseguir aumentar la cobertura de manera sencilla y rápida. Habitualmente existen localizaciones puntuales en zonas urbanas que carecen de cobertura o conexión con la estación base de la compañía operadora, sin embargo, a apenas unos metros de esas localizaciones se posee una cobertura excelente. Para el usuario convencional esto produce una sensación de pérdida de la calidad de servicio, que podría evitarse fácilmente ya que normalmente dentro de un domicilio existen varios terminales que podrían dar una “cobertura virtual” al usuario de manera totalmente transparente, evitando la decepción por parte del usuario al intentar utilizar un servicio que se considera como básico.

Otras aplicaciones del protocolo están relacionadas con la extensión de cobertura o mejora de las comunicaciones en zonas aisladas. Por ejemplo, en países emergentes con bajo desarrollo de infraestructuras, o en el despliegue de instalaciones de apoyo y colaboración para prestar servicios médicos o de suministros. Otra aplicación interesante sería la prestación de servicios de emergencia en situaciones de catástrofe o bien para el seguimiento de brigadistas en la extinción de incendios forestales [12]. En este último caso la densidad del bosque imposibilita el seguimiento de la señal GPS por lo que el uso de este protocolo con un software asociado en los móviles de los brigadistas permitiría conocer su situación y movilidad en todo momento desde el camión base, usualmente a unos kilómetros de la acción de los brigadistas. Las aplicaciones son múltiples y de gran interés como el aviso de colisiones múltiples en autopistas del que los autores de este artículo han desarrollado también un prototipo hardware que iría instalado en los vehículos y conectado a los sistemas de aviso del mismo para alertar al conductor en caso de colisión.[13]. Finalmente, como otras dos funcionalidades en las que se puede implementar un servicio utilizando el protocolo arriba descrito, se puede pensar en un sistema de asistencia a la conducción por carretera [14] o en un sistema de gestión de servicios de riegos en comunidades de regantes[15]. Este último punto sería de gran interés en regiones agrícolas.

Por otra parte, la importancia de la estandarización hace que sea muy necesario citar la enmienda IEEE 802.11s incorporada en el estándar IEEE 802.11-2012 como alternativa a la

## 2.1 EVALUACIÓN DEL PROTOCOLO

creación y mantenimiento de redes inalámbricas malladas (WMN) como las tratadas en el presente trabajo [16].

## 2.3 REFERENCIAS

- [1] F.-M. Zou, T.-S. Wang, X.-H. Jiang, and Z.-X. Lin, "Abanyan-tree topology based railway wireless mesh network architecture," *TiedaoXuebao/Journal of the China Railway Society*, vol. 32, no. 2, pp. 47-54, April 2010. doi: [10.3969/j.issn.1001-8360.2010.02.009](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-8360.2010.02.009)
- [2] Z. Yu, X. Xu, and X. Wu, "Application of wireless mesh network in campus network," 2nd Int. Conf. on Communication Systems, Networks and Applications, ICCSNA'10, vol. 1, pp. 245-247, 2010. doi:[10.1109/ICCSNA.2010.5588704](https://doi.org/10.1109/ICCSNA.2010.5588704)
- [3] N. Ghazisaidi, K. Hossein, and M. S. Bohlooli, "Integration of WiFi and WiMAX-mesh networks," 2nd Int. Conf. on Advances in Mesh Networks, MESH 2009, pp. 1-6, 2009. doi:[10.1109/MESH.2009.8](https://doi.org/10.1109/MESH.2009.8)
- [4] H. Wu, C. Qiao, S. De, and O. Tonguz, "Integrated cellular and ad hoc relaying systems: iCAR," *IEEE JSAC*, vol. 19, no. 10, 2001. doi:[10.1109/49.957326](https://doi.org/10.1109/49.957326)
- [5] H. Luo, R. Ramjee, P. Sinha, L. E. Li, and S. Lu, "UCAN: a unified cellular and ad-hoc network architecture," in *ACMMOBICOM*, 2003. doi:[10.1145/938985.939021](https://doi.org/10.1145/938985.939021)
- [6] S.-H. Kim, D.-W. Kim, and Y.-J. Suh, "A cooperative channel assignment protocol for multi-channel multi-rate wireless mesh networks," *Ad hoc Networks Journal*, vol. 9, no. 5, pp. 893-910, Jul. 2011. doi:[10.1016/j.adhoc.2010.10.007](https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2010.10.007)
- [7] S. Padiaditaki, P. Arrieta, and K. M. Mahesh, "A learning based approach for distributed multi-radio channel allocation in wireless mesh networks," *Int. Conf. on Network Protocols, ICNP'09*, IEEE Computer Society, pp. 31-41, 2009. doi: [10.1109/ICNP.2009.5339701](https://doi.org/10.1109/ICNP.2009.5339701)
- [8] D.-W. Kum, J.-S. Park, Y.-Z. Cho, B.-Y. Cheon, and D. Cho, "Mobility-aware hybrid routing approach for wireless mesh networks," *Proceedings, 3rd Int. Conf. on Advances in Mesh Networks, MESH 2010*, pp. 59-62, 2010. doi: [10.1109/MESH.2010.18](https://doi.org/10.1109/MESH.2010.18)
- [9] F. Martignon, S. Paris, and A. Capone, "A framework for detecting selfish misbehavior in wireless mesh community networks," *Proceedings, 5th ACM Int. Symp. on QoS and Security for Wireless and Mobile Networks, Q2SWINET'09*, pp. 65-72, 2009. doi: [10.1145/1641944.1641958](https://doi.org/10.1145/1641944.1641958)
- [10] K.-H. Lee and C. S. Hong, "A PKI based mesh router authentication scheme to protect from malicious node in wireless mesh network," *Management Enabling the Future Internet for Changing Business and New Computing Services*, pp. 405-413, 2009. doi:[10.1007/978-3-642-04492-2\\_41](https://doi.org/10.1007/978-3-642-04492-2_41)
- [11] Cerdan F, et al "Procedimiento De Establecimiento De Conexión Para Redes Inalámbricas". ES Patent. P201030454, ES2391754 B2 (21.05.2014).
- [12] Sanchez-Vitores, Raul. Sistemas de localización en interiores. *DYNA*, Junio 2005, vol. 80, no. 5, p.30-32
- [13] LUQUE-RODRÍGUEZ, Pablo, ÁLVAREZ-MÁNTARAS, Daniel, WIDEBERG, Johan et al. EVALUATION OF THE ROAD NETWORK: USE OF A MONITORING VEHICLE FOR THE RECORD OF POTENTIALLY DANGEROUS EVENTS. *DYNA*, agosto 2011, vol. 86, no. 4, p.431-437. doi: <http://dx.doi.org/10.6036/3990>

[14]MILANÉS-MONTERO, Vicente, ONIEVA-CARACUEL, Enrique, VINAGRE-JARA, Blas et al. DRIVING AID SYSTEM BASED ON A LOW-COST WIRELESS NETWORK. *DYNA*, abril 2010, vol. 85, no. 3, p.245-254. doi: <http://dx.doi.org/10.6036/3056>

[15]AMOR-SAAVEDRA, Pablo Leon Del. SISTEMA DE ACCESO MOVIL PARA LA GESTION DE SERVICIOS DE RIEGOS EN COMUNIDADES DE REGANTES. *DYNA*, Junio 2004, vol. 79, no. 5, p.49-52

[16] M. Bahr, "Proposed routing for IEEE 802.11s WLAN mesh networks." Proceedings of the 2<sup>nd</sup> annual international workshop on Wireless internet, p.5-es, August 02-05, 2006, Boston, Massachusetts. doi: 10.1145/1234161.1234166

# CAPÍTULO 3

PUESTA EN PRÁCTICA DEL  
PROTOCOLO COOPERATIVO



## 3 PUESTA EN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO COOPERATIVO

La mayoría de los usuarios de dispositivos móviles actuales incorporan una Interfaz wifi. Las comunicaciones entre pares se basan en la configuración de redes Adhoc, pero la principal desventaja es la cobertura radio. El éxito en el despliegue de servicios y aplicaciones basadas en este concepto necesitan del desarrollo y puesta en práctica de protocolos cooperativos y aplicaciones que permitan a los usuarios intermedios la recepción y reenvío de información a los usuarios de destino. Los usuarios pueden sacar el máximo provecho de la tecnología adquirida dentro del teléfono móvil, ya que es posible ampliar la cobertura de radio en varios saltos, y disfrutar de servicios similares de telefonía móvil gratuitos. En este trabajo nos enfrentamos al reto de construir una aplicación de gran interés, para enviar SMS entre teléfonos comerciales móviles sin línea directa de visión. Para ello implementamos el protocolo de comunicación con capacidad multisalto descrito en el capítulo 2, que permite el despliegue de Redes WIFI ad-hoc y espontáneas, sin límites de cobertura. El protocolo ha sido integrado en una aplicación Java para enviar SMS entre teléfonos móviles de usuario a través de su interfaz WIFI.

### 3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo mostramos los aspectos fundamentales de la aplicación *Salta 2.0* aplicación de mensajería instantánea ejecutada sobre teléfonos móviles que posean interfaces WLAN y tengan instalada la aplicación. Con este software los usuarios pueden enviar mensajes a terminales cercanos y a otros dispositivos con los que no mantienen una conectividad directa por falta de alcance o presencia de obstáculos siempre y cuando existan nodos intermedios entre origen y destino que desempeñarán funciones de reenvío de la información.

La comunicación se efectúa a través de una red IEEE 802.11b/g configurada en modo ad-hoc, aunque también sería válido para una red WLAN en modo infraestructura. En consecuencia, no se hace uso de los servicios proporcionados por los operadores de telefonía móvil.

Gracias al encaminamiento multisalto que posee este software le será posible comunicarse tanto con dispositivos con los que tiene una visión directa como otros dispositivos con los que no se mantenga una conectividad directa por falta de alcance o presencia de obstáculos siempre y cuando existan móviles intermedios entre origen y destino que puedan desempeñar funciones de reenvío de la información.

Estos dispositivos realizarán el reenvío de manera transparente al usuario guardando la confidencialidad del mensaje a reenviar el cual no será visible para los propietarios de los móviles que efectúan un reenvío, sino que el único terminal capaz de ver el contenido es el terminal destino.

En el siguiente gráfico se puede observar de forma gráfica un posible escenario para comprender el funcionamiento de *Salta 2.0*.

### 3 PUESTA EN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO COOPERATIVO

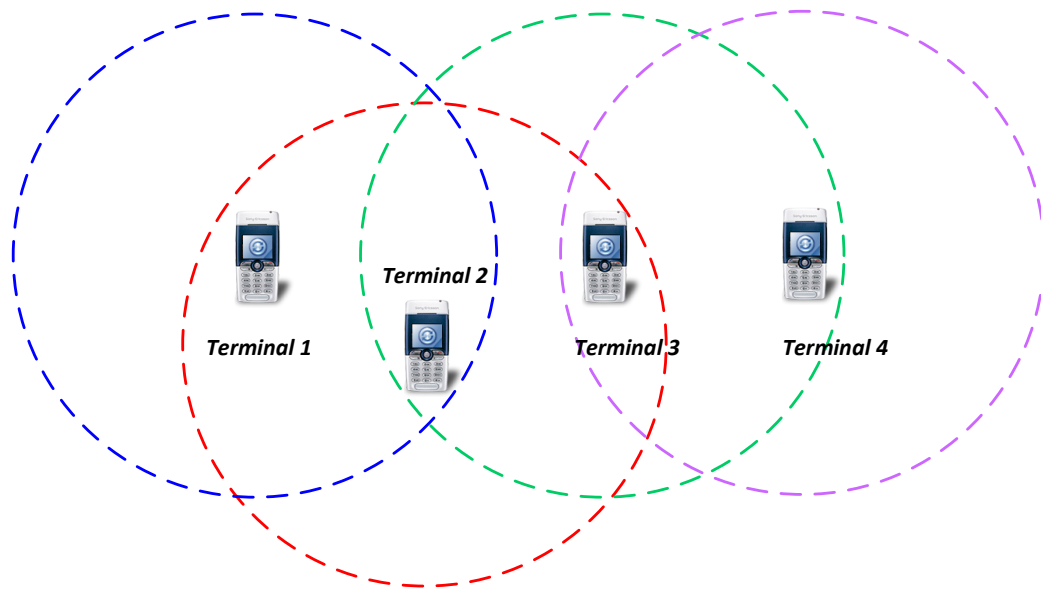


Figura 1: Escenario de ejemplo

En el ejemplo el Terminal 1 solo tiene conectividad con 2, el Terminal 2 la tiene con el 1 y con el 2, el Terminal 3 puede comunicarse con el 2 y con el 4, y el Terminal 4 solamente tiene conectividad con el Terminal 2.

Si no existiera la capacidad multisalto solo sería posible la comunicación entre los terminales citados para cada caso dependiendo del dispositivo móvil de origen, pero Salta 2.0 incorpora la tecnología multisalto la cual permite la conectividad entre todos los nodos aun careciendo de conectividad directa.

Si el Terminal 1 pretende enviar un mensaje al Terminal 4 este utilizará como nodos intermedios el Terminal 2 y el 3, de manera que el mensaje llega a su destino realizando dos saltos.

La comunicación se efectúa a través de una red IEEE 802.11b/g configurada en modo ad-hoc. Tanto el envío y recepción de mensajes son completamente gratuitos ya que no se hace uso de los servicios GSM proporcionados por los operadores de telefonía móvil.

Adentrándonos en la aplicación, en la siguiente imagen podemos apreciar un terminal móvil ejecutándola:



Figura 2: Terminal Nokia N80 ejecutando la aplicación

La aplicación se basa en una serie de menús que permiten al usuario interactuar con el dispositivo móvil de manera similar que los menús del sistema operativo del propio teléfono móvil. Mediante las teclas superior, inferior, derecha, izquierda, y las teclas de uso múltiple de la parte superior, se puede manejar la aplicación.

Entre otras funcionalidades Salta 2.0 posee un protocolo de reenvío y encaminamiento multisalto con confirmación de los mensajes recibidos en el dispositivo que pretende enviar un mensaje. Además, incluye una agenda en la que el usuario puede almacenar los contactos a los que usualmente va a enviar mensajes y una memoria para los mensajes recibidos de manera que el usuario pueda consultar cualquiera de los mensajes recibidos en cualquier uso posterior de la aplicación. Análogamente existe una memoria de mensajes en la que se almacena el contenido del mensaje y datos adicionales como la fecha, el remitente, el número de saltos y la ruta que ha experimentado el mensaje hasta llegar a su destino. Tanto los datos de la agenda como los de la memoria de mensajes se borrarán si se desinstala la aplicación.

Adicionalmente Salta 2.0 puede advertir al usuario sobre la llegada de un nuevo mensaje recibido o bien si se está realizando un reenvío de un mensaje a otro usuario mediante señales acústicas cuyos volúmenes son configurables. La señal acústica más aguda hace referencia a los reenvíos de mensaje, mientras que el pitido más grave se refiere a un mensaje recibido. Si el mensaje ha experimentado saltos el sonido sonará una nota más aguda por cada terminal atravesado por el mensaje en comparación con el caso en el que no se han dado saltos.

En el siguiente apartado realizaremos una descripción de los aspectos de diseño que se han tenido en cuenta y las soluciones empleadas para lograr nuestros objetivos.

Finalmente mostramos un breve manual de usuario en el que indicamos los pasos previos necesarios para poder ejecutar la aplicación en un conjunto de dispositivos móviles conectados a una misma red WiFi en modo ad-hoc además de tratar el modo de funcionamiento de la aplicación.

### 3.2 ASPECTOS DE DISEÑO

Esta aplicación ha sido desarrollada en Java para la plataforma J2ME (CLDC-1.1 y MIDP-2.0) en terminales con sistema operativo Symbian S60 3rd edition, por lo tanto, se puede ejecutar en la mayoría de dispositivos móviles que soporten aplicaciones Java para estas versiones. Las comunicaciones se realizan mediante interfaces de red WiFi por lo que solamente funcionará en aquellos terminales que posean una interfaz de este tipo no siendo posible el uso de Bluetooth en esta aplicación.

Para el desarrollo y testeo de la aplicación hemos empleado los terminales Nokia N80. Si tenemos que ejecutar la aplicación en otros dispositivos móviles convendría comprobar ciertos aspectos del código ya que, aun siendo móviles con sistema operativo similar, presentan una forma de ejecutar la aplicación distinta en cada modelo por lo que puede darse el caso en el que ocurran efectos no deseados en la ejecución del programa y por tanto se requiera una adaptación para solventar estos problemas.

Estas experiencias las hemos podido comprobar mediante diversos emuladores utilizados para el desarrollo de la aplicación.

Este software es un MIDlet el cual posee una interfaz gráfica de usuario que nos permite interactuar con la aplicación a través de una serie de menús con ayuda de los botones asociados a los eventos de pantalla. Además, hemos implementado mensajes de alerta que permitan al usuario identificar situaciones que desencadenen un funcionamiento anómalo de la aplicación además de ayudar al usuario a solucionar los problemas que originan dichas anomalías.

De manera adicional hemos implementado una sencilla agenda donde guardar los nombres de los contactos a los que queremos enviar mensajes junto a sus direcciones IP, de manera que esta agenda de contactos permanece persistente cada vez que se vuelva a ejecutar la aplicación posteriormente con la posibilidad de borrar un contacto o bien la agenda completa si así se desea.

Respecto al último mensaje recibido queda almacenado de manera que podamos consultarlo en otro momento posterior al momento en el que se recibe.

Además de la interfaz gráfica comentada se ha implementado un protocolo de reenvío y encaminamiento multisalto basado en un mecanismo de inundación al cual se le ha añadido mecanismos de congestión con el fin de optimizar el tráfico que fluye por la red.

La motivación principal del algoritmo de encaminamiento empleado consiste en que los nodos de la red tengan capacidad de reenvío de la información que reciben hacia todos sus dispositivos adyacentes y que a su vez estos realicen dicha tarea, pero tratando de reducir el número de reenvíos en la medida de lo posible para evitar tráfico superfluo en la red.

De esta manera mediante los dispositivos pertenecientes a la red se logra la comunicación entre dos terminales origen y destino que en un principio no tenían conectividad directa.

De forma gráfica mostramos un ejemplo en el que gracias al mecanismo de encaminamiento multisalto descrito se puede lograr la conectividad entre los terminales A y G:

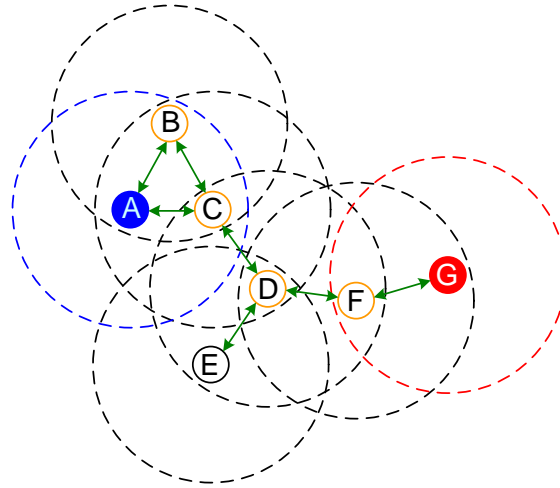


Figura 3: Red con encaminamiento multisalto

Como se puede observar los terminales C, D, F actúan como nodos intermedios realizando el reenvío de datagramas de forma transparente a sus usuarios.

Asumimos como hipótesis de partida que los terminales están dentro de una red ad-hoc con un direccionamiento privado de clase A, B o C acordado y configurado previamente por los usuarios antes de iniciar la aplicación, de manera que todos los terminales tengan direcciones IP con la misma porción de red ya que inicialmente no existirán dispositivos enrutadores que comuniquen redes diferentes. La aplicación no permitirá el envío de mensajes a dispositivos que posean otro tipo de direccionamiento ya que las redes ad-hoc empleadas para la ejecución de este software no van a ser redes o subredes de Internet.

Los mensajes a enviar y recibir son de tipo texto con una longitud máxima posible obtenida a partir del máximo soportado por los sockets empleados. Dichos mensajes se encapsulan en un datagrama compuesto por los siguientes campos:



Figura 4: Estructura del datagrama

Donde los campos están separados por un carácter de control que no es posible escribirlo desde los terminales. Este carácter nos permite una correcta lectura a la hora de decodificar los campos del datagrama recibido. La utilidad de cada campo es la siguiente:

- **Mensaje:** Contiene el mensaje tal cual se ha escrito en el terminal en caracteres ASCII.
- **Dirección IP Origen:** Es la dirección IP del terminal que ha enviado el mensaje.
- **Dirección IP Destino:** La dirección IP del terminal destino la cual se tendrá en cuenta para la recepción y posterior reenvío de información.
- **Identificador de mensaje:** Número entero que identifica a cada mensaje de forma unívoca.
- **Contador TTL:** Contador que muestra el número de saltos que se le permiten al datagrama antes de ser descartado por los nodos de la red.

El datagrama completo se encapsula en un paquete UDP el cual toma como dirección IP destino la dirección broadcast asociada al direccionamiento empleado para que todos los nodos vecinos

### 3 PUESTA EN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO COOPERATIVO

puedan recibir este mensaje. Se usa un puerto conocido por todos los terminales establecido de manera fija en la aplicación.

Conviene destacar que dentro del datagrama está la dirección IP del terminal destino la cual evidentemente difiere de la dirección destino del paquete UDP que encapsula el datagrama, recordemos que la motivación de utilizar la dirección broadcast es la consecución de una inundación para que el paquete UDP alcance su destino atravesando todos los nodos posibles de la red. Las tareas de envío de información se llevan a cabo en una clase Cliente que se ejecuta en el thread principal de la aplicación.

Posteriormente en recepción cada nodo allegado decodifica los campos del datagrama y consulta la IP destino para comprobar si el nodo que ha recibido el datagrama es el destinatario o no. Seguidamente se toma una decisión en la que o bien se muestra el contenido del mensaje en pantalla en caso de ser el destinatario o en caso contrario se reenvía el datagrama tal cual, salvo el campo TTL que se verá modificado, como se explica en el segundo mecanismo.

La recepción se lleva a cabo en un thread alternativo implementado en una clase Servidor que permanece constantemente a la escucha de nuevos datagramas en un puerto en concreto para su posterior tratamiento. Mientras tanto el thread principal nos permite manejar la aplicación.

Este protocolo sin un mecanismo de congestión sería altamente inestable y más en escenarios en los que cierta población de nodos esté muy próxima entre sí por lo que surgirían problemas a la hora de ejecutar esta aplicación en escenarios en los que el número de nodos crezca considerablemente. Con el fin de reducir en la medida de lo posible el tráfico de la red, optimizando también el consumo energético de los dispositivos móviles, se emplea en la aplicación un mecanismo de control de congestión basado en identificadores de mensaje y un contador TTL.

El funcionamiento de cada mecanismo es el siguiente:

- **Identificador de mensajes:** Los datagramas deben tener un identificador de mensaje único para cada uno de los mismos. Este identificador se establece en el nodo emisor y para calcularlo se recurren a Clases y métodos que proporcionan la consulta del tiempo en milisegundos a partir de la fecha del dispositivo sobre el que se ejecuta. De esta forma se consigue un identificador único para cada mensaje asumiendo que la diferencia de tiempo entre los envíos por parte de cada nodo es de al menos 1 mseg. A la hora de recibir un mensaje cada terminal consulta una lista de identificadores de mensajes ya recibidos de manera que, si el mensaje recibido no está en esta lista en consecuencia este mensaje o bien puede ser mostrado en pantalla, en el caso que sea el destinatario el terminal en cuestión, o bien puede ser reenviado cuando el terminal no sea el destinatario. Si llega de nuevo este mensaje por segunda vez u otras veces adicionales el terminal lo tendrá registrado en la lista de identificadores conocidos por lo que descartará el datagrama inmediatamente ya que resulta una información redundante para el dispositivo que lo ha recibido. De esta manera se evita el envío de forma cíclica de un mismo mensaje.
- **Contador TTL:** Para reforzar el mecanismo anterior utilizamos un contador de saltos TTL. Este método, al igual que el anterior, pretende descartar paquetes que puedan resultar innecesarios en la red. Para ello se implementa en el datagrama un contador de nodos atravesados, inicialmente mayor que cero, de manera que cuando dicho datagrama sea recibido y reenviado por un nodo se decrementará en una unidad. Si un nodo recibe un datagrama con TTL cero y es un paquete que debería ser reenviado este se descarta ya

que este datagrama ha recorrido el máximo número de saltos permitido y en teoría debería haber alcanzado el nodo destino siempre y cuando este terminal esté conectado a la red.

La aplicación una vez compilada se presenta en dos ficheros: *wifismsN80.jad*, *wifismsN80.jar* que deben ser copiados a cada terminal móvil. Posteriormente se ejecutan a modo de programa de instalación quedando instalados correctamente para su ejecución.

## 3.3 MANUAL DE USUARIO

### 3.3.1 Configuración de los terminales

En primer lugar, vamos a configurar una serie de dispositivos móviles para la posterior ejecución de la aplicación *Salta 2.0*. Como se mencionó anteriormente los terminales estarán conectados inalámbricamente en una red ad-hoc en la que se utiliza un direccionamiento privado de clase A, B o C. Este direccionamiento lo realizaremos de forma estática.

Detallamos el proceso de configuración llevar a cabo en los terminales N80 que hemos empleado para el desarrollo de la aplicación:

1. Primero vamos a definir el punto de acceso caracterizado mediante la red ad-hoc. Para ello pulsamos la *tecla de menú* y vamos a *Herramientas* → *Ajustes* → *Conexión*. Seleccionamos *Puntos de acceso* y nos aparecerá una lista con puntos de acceso existentes. Vamos a crear uno nuevo pulsando el botón asociado a *Opciones* → *Punto de acceso nuevo* → *Usar ajustes predet.*
2. Definimos a continuación los parámetros necesarios para el punto de acceso. Proponemos los siguientes valores para los parámetros solicitados:
  - *Nombre de conexión:* Acceso ad-hoc.
  - *Portador de datos:* LAN Inalámbrica.
  - *Nombre de red WLAN:* Red Salta 2.0. Aunque si ya se ha configurado un móvil y estamos configurando un segundo terminal podemos usar la opción *Buscar Redes* para detectar la red ad-hoc definida anteriormente.
  - *Estado de la red:* Pública.
  - *Modo de red WLAN:* Ad-hoc.
  - *Modo seguridad. WLAN:* Red abierta.
  - *Página de Inicio:* Ninguna.
3. Como siguiente paso se requiere establecer el direccionamiento IP. Para ello, sin salir de la ventana de configuración del punto de acceso, pulsamos el botón adecuado para ir a *Opciones* → *Ajustes avanzados* → *Ajustes de IPv4* y establecemos los parámetros de direccionamiento. Por ejemplo, proponemos los siguientes valores para un direccionamiento privado de clase C en uno de los terminales:
  - *Dirección IP del teléfono:* 192.168.1.1
  - *Máscara de subred:* 255.255.255.0
  - *Pasarela predeterminada:* 192.168.1.254. Es necesario definirla, aunque en principio no hagamos uso de ella.
  - *Dirección de DNS:* Automática.

### 3 PUESTA EN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO COOPERATIVO

4. Una vez establecidos estos parámetros pulsamos reiteradas veces el botón *Atrás* hasta llegar a la lista de puntos de acceso en la que podremos identificar nuestra nueva configuración y el nuevo punto de acceso.

De esta forma, si repetimos los pasos para cada terminal, quedaría establecida la configuración necesaria por lo que podemos pasar a la instalación y ejecución del software. Se pueden establecer tantos puntos de acceso como desee para poder tener conectividad con distintas redes.

#### 3.3.2 Instalación de la aplicación

Para la instalación del software se puede llevar a cabo o bien mediante la copia del fichero *salta.jar* en la tarjeta de memoria de los terminales, o bien se puede utilizar la aplicación *Nokia PC Suite* que nos permite la instalación de aplicaciones en los terminales móviles, entre otras funciones, mediante un cable de datos o bien mediante Bluetooth con ayuda de un ordenador donde se ejecute dicha aplicación.

Si decidimos usar el método de copia de los ficheros en la tarjeta de memoria procedemos como se detalla a continuación:

1. Para una extracción segura de la tarjeta del dispositivo móvil vamos al menú *Herramientas* → *Memoria* → *Opciones* → *Extraer tarj. mem.* Y seguimos los pasos que nos indica el teléfono.
2. Una vez extraída la tarjeta copiamos los ficheros mencionados mediante un lector de tarjetas conectado a un ordenador.
3. Introducimos de nuevo la tarjeta de memoria en el terminal móvil, y ejecutamos el gestor de archivos que nos permita acceder a los ficheros. Para ello vamos al menú *Herramientas* → *Gestor archivos* y seleccionamos la tarjeta de memoria con la flecha derecha, y buscamos el fichero *salta.jad*.
4. Ejecutamos este fichero y seguimos los pasos de instalación. A pesar que muestra un mensaje de advertencia en el que se informa de la peligrosidad a la hora de ejecutar la aplicación continuamos. El teléfono la califica como potencialmente peligrosa al no haber sido firmada digitalmente con un certificado perteneciente a un proveedor de confianza. Aun, así como es una fuente de confianza podemos continuar sin problemas.
5. Escogemos como memoria donde instalar la aplicación la memoria interna del teléfono si hay espacio disponible. Si no existiera pues entonces habría que instalarla en la tarjeta de memoria. Tanto en un caso como en otro, pasados unos segundos quedará instalada la aplicación Salta 2.0 en el terminal móvil.

Si optamos por el uso del software *Nokia PC Suite* debe llevar a cabo la instalación de la aplicación Salta 2.0 mediante la funcionalidad *Instalar Aplicaciones* que posee Nokia PC Suite. Para más detalles consulte el manual de usuario de la aplicación Nokia PC Suite. Una vez realizado estos pasos el proceso es similar al método anterior a partir del paso 4.

A continuación, mostramos unas capturas realizadas sobre la aplicación Nokia PC Suite en el momento de instalar la aplicación Salta 2.0 en un teléfono móvil:



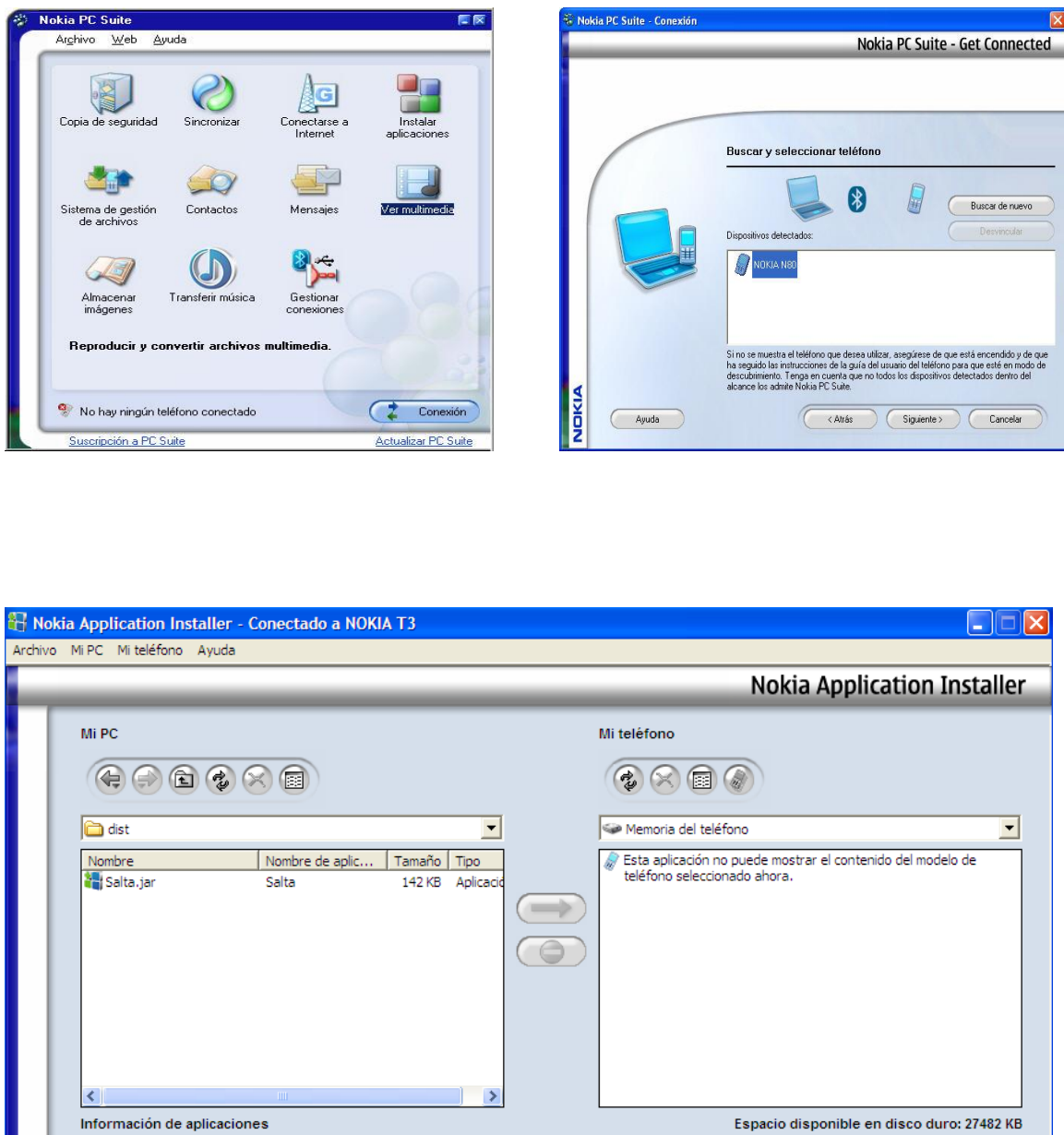


Figura 5: Aplicación Nokia PC Suite

En las primeras figuras se puede apreciar la pantalla principal de Nokia PC Suite en la que seleccionaremos *Instalar Aplicaciones*. Seguidamente debe seleccionar el teléfono móvil entre aquellos disponibles como se muestra en la segunda imagen y por último transferir el fichero *Salta.jar* mencionado anteriormente mediante el *Nokia Application Installer* que se muestra en el tercer gráfico.

Para desinstalar la aplicación hay que seguir los mismos pasos que en la desinstalación de una aplicación cualquiera de su teléfono móvil.

De forma general debería ir al menú *Mis cosas*, seleccionar el icono de la aplicación, y seguidamente ejecute *Opciones* → *Eliminar*. Se le preguntará si desea eliminar la aplicación del teléfono por lo que debe responder afirmativamente.

### 3 PUESTA EN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO COOPERATIVO

Pasados unos instantes quedarán eliminados la aplicación y todos los datos de la memoria de mensajes y la agenda de contactos.

#### 3.3.3 Primeros pasos con la aplicación Salta 2.0

Para iniciar a la aplicación instalada puede encontrar el ejecutable en el menú *Mis Cosas* donde aparecerán las aplicaciones instaladas entre las cuales figura *Salta* como se muestra en la figura 6. Dependiendo del modelo de dispositivo móvil puede ser que la lista de aplicaciones se encuentre en otro menú, consulte el manual de usuario de su terminal móvil para más información.



Figura 6: Lista de aplicaciones

#### **ATENCIÓN**

*A la hora de iniciar la aplicación en un conjunto de teléfonos móviles es necesario que se haga en orden secuencial y no simultáneamente estando todos dentro del mismo radio de cobertura común en este proceso de arranque. Si no se respetase esta condición se crearán redes ad-hoc independientes por lo que no existirá conectividad entre los dispositivos teniendo que desconectar la red inalámbrica y repetir el proceso de arranque con el fin de conectar todos los dispositivos móviles a una única red inalámbrica.*

Cada vez que lo ejecutemos el terminal nos realiza una serie de preguntas:



Figura 7: Configuración inicial de arranque y pantalla de inicio

Para que la aplicación funcione correctamente debemos permitir a la aplicación el envío y recepción de datos y tenemos que seleccionar como punto de acceso el que configuramos en el apartado anterior denominado *Salta 2.0*.

### 3.3.4 Menú principal de la aplicación

Al ejecutar la aplicación podrá observar la pantalla de inicio detallada en la figura 5 la cual le permitirá realizar las siguientes acciones mediante cada elemento del menú:



- *Enviar Mensaje*: Al seleccionar esta acción aparecerán los elementos en pantalla necesarios que le permita redactar un mensaje para enviarlo a un dispositivo móvil.
- *Mensajes Recibidos*: Con esta opción podrá consultar la memoria de mensajes almacenados y leer o borrar aquellos que desee.
- *Contactos*: Este comando muestra la agenda de contactos y los menús necesarios para su manutención.
- *Ver Mi Dirección IP*: Si ejecuta esta acción podrá obtener la dirección IP que posee la interfaz inalámbrica del teléfono móvil que ha sido configurada previamente.
- *Volumen de Avisos*: Le será posible configurar el volumen de las señales acústicas de aviso ante nuevos mensajes y reenvíos seleccionando este elemento del menú.
- *Salir*: Por último, este comando se utiliza para finaliza la aplicación.

### 3.3.5 Recepción de mensajes

Cuando un mensaje se recibe en el receptor este inmediatamente se almacena en la memoria de mensajes, si existe capacidad disponible, además de mostrarse en pantalla un diálogo informativo como se indica en la siguiente figura:

### 3 PUESTA EN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO COOPERATIVO



Figura 8: Información sobre un mensaje recibido

Ante la llegada de dos o más mensajes sin haber leído el primero de ellos la aplicación solo mostrará en pantalla el último mensaje recibido, aunque en memoria se ha almacenado todos los mensajes recibidos.

En la alerta de mensaje recibido la información que se muestra en pantalla es la siguiente:

- Terminal remitente.
- Contenido del mensaje.
- Fecha y hora cuando fue recibido el mensaje.
- Número de saltos que ha experimentado el mensaje.
- Ruta que ha seguido el mensaje hasta llegar a su destino.

Para poder leer toda la información desplácese hacia la parte inferior con el botón correspondiente. Una vez leído pulse el botón *Volver*.

#### 3.3.6 Menú enviar mensaje

Al ejecutar esta acción la aplicación nos muestra una pantalla donde podrá redactar el mensaje a enviar.

Una vez redactado el mensaje ahora debe seleccionar el terminal destinatario mediante el menú *Opciones* → *Seleccionar Contacto*. Tras ejecutar este menú Salta 2.0 el permite seleccionar el nombre del contacto destinatario entre los que nos proporciona la agenda. Una vez seleccionado solo resta ejecutar el menú *Opciones* → *Enviar* para proceder a su envío a la red inalámbrica a la que está conectado.



Figura 9: Elección del destinatario

Una vez enviado el mensaje se muestra un aviso informativo en pantalla para confirmar al usuario sobre este evento.

Si intenta enviar un mensaje a otro contacto que no pertenezca a su misma red le será notificado mediante un mensaje similar al que se muestra en la tercera imagen de la figura 9.

En ese caso debe desconectarse de la red inalámbrica en la que está y conectarse a una red con el mismo direccionamiento que el terminal destino.

Si en el destinatario se ha recibido correctamente este mensaje éste enviará al terminal remitente un mensaje de confirmación el cual se mostrará en pantalla. En la siguiente figura puede ver un mensaje de confirmación:



Figura 10: Mensaje de Confirmación

### 3 PUESTA EN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO COOPERATIVO

Si pulsa el botón para leer la parte inferior de la pantalla podrá leer toda la información que posee este mensaje:

- El terminal destino que confirma el mensaje recibido.
- La fecha y hora del mensaje de confirmación.
- El número de saltos que ha experimentado el mensaje de confirmación.
- La ruta que ha seguido el mensaje hasta llegar al terminal.

Si el mensaje no ha llegado correctamente a su destino, o bien si se pierde el mensaje de confirmación la aplicación, Salta 2.0 no mostrará ningún aviso manteniéndose en la misma pantalla en la que estaba tras haber seleccionado un contacto destinatario.

En ese caso se aconseja proceder a su reenvío repitiendo de nuevo el comando *Opciones* → *Enviar*.

Una vez que se ha recibido el mensaje de confirmación tras pulsar *Volver* la aplicación retorna a la pantalla de inicio.

Cuando un mensaje no logra alcanzar su destino puede ser por varias causas. Consulte la sección *Problemas y Soluciones* de este manual para más información.

#### 3.3.7 Menú mensajes recibidos

Mediante esta opción aparece una ventana como la que se muestra en la figura 11 a través de la cual le será posible consultar los mensajes recibidos que permanecen residentes en memoria tras su recepción.

En la pantalla se muestra un listado en orden cronológico con los nombres asociados a los terminales que enviaron los mensajes o bien la dirección IP de los mismos mismo entre paréntesis si el usuario no ha creado contactos asociados a estos terminales en la agenda.

Si no existen mensajes aparecerá en pantalla “No hay mensajes”.



Figura 11: Memoria de mensajes recibidos

Para leer en pantalla toda la información relacionada con un mensaje almacenado en concreto seleccionamos el nombre de su remitente mediante las teclas superior e inferior y ejecutamos *Opciones* → *Leer*.

La información que aparece en pantalla es la siguiente:

- Terminal remitente.
- Contenido del mensaje.
- Fecha y hora cuando fue recibido el mensaje.
- Número de saltos que ha experimentado el mensaje.
- Ruta que ha seguido el mensaje hasta llegar a su destino.



Figura 12: Mensaje almacenado

En la parte superior de la pantalla existe un contador que ayuda al usuario a conocer el número de mensaje que está leyendo y el número de mensajes existentes en memoria.

Salta 2.0 permite el almacenamiento hasta un máximo de 50 mensajes. Si se alcanza el máximo de mensajes permitido todos aquellos nuevos mensajes que lleguen al terminal serán rechazados de manera que tanto en el terminal que desea enviar el mensaje como en el receptor que posee la memoria llena se notifica la anomalía.

Los mensajes se pueden borrar uno a uno bien todos a la vez.

Si se pretende borrar un solo mensaje tiene que seleccionarlo y mediante el menú *Opciones* → *Borrar Mensaje* conseguirá que se borre definitivamente de la memoria. Pero antes aparecerá en pantalla un cuadro de diálogo en el que se le pide una confirmación para la acción de borrado.



Figura 13: Diálogos de confirmación para el borrado de mensajes

Si pretendemos borrar la memoria completa de mensajes la acción a ejecutar es *Opciones* → *Borrar Todos*.

### 3 PUESTA EN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO COOPERATIVO

La acción de borrado de mensajes es irreversible no siendo posible la recuperación de los mismos.

Si desinstala la aplicación también se borrarán los mensajes.

Las actualizaciones a posteriores versiones de Salta 2.0 no alterarán el contenido de la memoria de mensajes.

#### 3.3.8 Menú Contactos

Mediante este comando se mostrará en pantalla los componentes gráficos que le permita administrar la agenda de contactos del terminal móvil sobre el que se está ejecutando la aplicación Salta 2.0.



Figura 14: Agenda de contactos

La funcionalidad de los menús tras pulsar la tecla *Menú* para esta agenda de contacto es la que se muestra a continuación:

- *Añadir*: Al seleccionar esta acción podremos agregar un nuevo contacto.
- *Ver IP*: Si seleccionamos un nombre de la agenda podremos consultar cuál es su dirección IP asociada. En la figura 14 aparece una captura de la aplicación cuando se ha ejecutado este comando.
- *Borrar*: Mediante esta acción borraremos el contacto que esté seleccionado antes de seleccionar este comando.
- *Borrar Todo*: Por último, la agenda nos permite borrar la lista entera de contactos seleccionando esta acción.

La agenda permite almacenar hasta un máximo de 100 contactos.

Inicialmente el teléfono móvil tiene la lista de contactos vacía. Para agregar nuevos contactos tiene que ejecutar el menú *Menú* → *Añadir*.

Aparecerá en pantalla los componentes gráficos que se muestran en los siguientes gráficos:





Figura 15: Creación de un contacto

Salta 2.0 le pedirá un nombre para el nuevo contacto el cual podrá introducir mediante los botones alfanuméricos. La longitud máxima del nombre es de 18 caracteres.

Una vez escrito el nombre pulse *Aceptar* aparecerá en pantalla un cuadro de diálogo que solicita la dirección IP del teléfono móvil asociada al nombre introducido anteriormente. La dirección IP a introducir debe ser una dirección privada de clase A, B o C no pudiendo ser una dirección acabada en 0 o 255 ya que estas direcciones no están permitidas para el direccionamiento de interfaces de red.

Además, tiene que introducir direcciones IP que pertenezcan a la misma red a la que se ha conectado, aunque se permite la introducción de direcciones IP perteneciente a otras redes. Si se introducen contactos pertenecientes a diferentes redes para poder enviar y recibir mensajes a un determinado contacto debe estar conectado a su misma red. En caso de no estarlo debería reiniciar la conexión y la aplicación seleccionando la configuración de red adecuada.

Si desea consultar la dirección IP de un contacto primero debe seleccionarlo en la agenda y ejecutar el menú *Opciones* → *Ver IP*. La aplicación mostrará un cuadro de diálogo con la información solicitada como la de la siguiente figura:

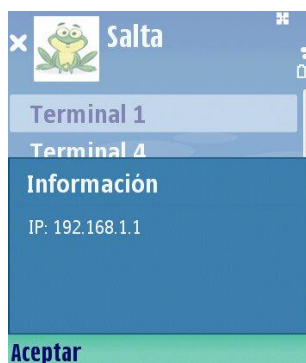


Figura 16: Consulta de la dirección IP de un contacto

### 3 PUESTA EN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO COOPERATIVO

Si se desea borrar contactos de la agenda puede hacerlo borrando de uno en uno o bien borrando la agenda completa.

Para borrar un solo contacto basta con seleccionar el contacto de la agenda y ejecutar *Opciones* → *Borrar Contacto*.

Para el borrado de todos los contactos de la agenda debe ejecutar el menú *Opciones* → *Borrar Todo* para borrarlos todos.

Una vez borrado un contacto o la agenda completa no podrá recuperarse la información posteriormente.

Al desinstalar la aplicación del teléfono móvil también se borrarían los contactos.

Las actualizaciones a posteriores versiones de Salta 2.0 no alterarán la lista de contactos.

#### 3.3.9 Menú ver mi dirección IP

A veces puede ser de gran utilidad consultar la dirección IP que posee el terminal móvil donde se está ejecutando la aplicación. Para realizar esta consulta existe este comando que tras ejecutarlo nos aparecerá en pantalla un mensaje de información en el que se nos indica nuestra dirección IP, mensaje como el que se muestra en la siguiente figura.



Figura 17: Información sobre la dirección IP del teléfono móvil

Si no estuviera conectado el móvil a la red o no ha sido posible la asignación de una dirección IP por problemas en la configuración del dispositivo la IP que tendrá el móvil por defecto será la dirección 127.0.0.1.

En ese caso no será ni el envío ni la recepción de mensajes.

#### 3.3.10 problemas y soluciones

Los problemas que pueden surgir a la hora de manejar esta aplicación son los fallos en los procesos de envío y recepción de mensajes. Para el resto de anomalías los mensajes que incorpora la aplicación ayudan al usuario a solucionar estos problemas secundarios.

Cuando un mensaje transmitido no alcanza su destino se aconseja realizar las siguientes comprobaciones:

- Compruebe que ambos terminales están conectados a la red WiFi verificando el icono que aparece en la parte superior derecha de la pantalla.
- Compruebe que el receptor está ejecutando la aplicación.
- Compruebe la configuración de red. Debe tener una dirección IP con el mismo rango de red que la del terminal destino (consulte el apéndice de este manual para más información).
- Compruebe que emisor y receptor no tengan la misma dirección IP.
- Compruebe que está dentro del radio de cobertura de al menos un móvil de la red y que este móvil pueda comunicarse con los restantes hasta alcanzar el terminal destino.
- Compruebe que el resto de terminales de la red verifiquen las condiciones anteriores.

Tras realizar estas comprobaciones deshabilite las conexiones de todos los móviles de la red y vuelva a arrancar Salta 2.0 en cada dispositivo de manera secuencial estando todos los móviles próximos entre sí para que puedan enlazarse entre ellos bajo una misma red.

Muchos problemas de conectividad se deben a que se han creado redes ad-hoc independientes por no seguir este paso como se indica en el manual.

Si el problema de envío y recepción aparece en momentos puntuales se debe a que el terminal origen, destino o alguno de los nodos intermedios se encuentra justo en el límite del radio de cobertura de sus terminales adyacentes por lo que en determinados momentos al menos un terminal móvil perteneciente a la ruta está fuera del alcance de la red por lo que no es posible la comunicación.

#### 3.3.11 REQUISITOS MÍNIMOS

Esta aplicación Java ha sido desarrollada para terminales móviles que posean las siguientes especificaciones:

- Preferiblemente Symbian S60 3rd Edition.
- Al menos 120 Kbyte de memoria disponible.
- MIDP 2.0
- CLDC 1.0
- Interfaz inalámbrica WiFi.

#### 3.4 ANEXO I: ASIGNACIÓN DE DIRECCIONES IP

### 3 PUESTA EN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO COOPERATIVO

A la hora de realizar la configuración de red en los dispositivos es necesaria la asignación de una dirección IP. Una dirección IP es un identificador dentro de la red que debe ser único y diferente para cada dispositivo.

Está compuesta por cuatro números comprendidos entre 0 y 255 separados por puntos. Entre estos números podemos identificar la porción de red y la porción de host. Dependiendo de la clase a la que pertenezca la dirección la porción o la de red podrá abarcar uno o más números de la dirección IP. Para que dos o más dispositivos estén conectados en la misma red se requiere que sus direcciones IP compartan la misma porción de red y tengan distinta porción de host.

En la siguiente figura mostramos tres direcciones privadas de clase A, B y C con las porciones de red y host:

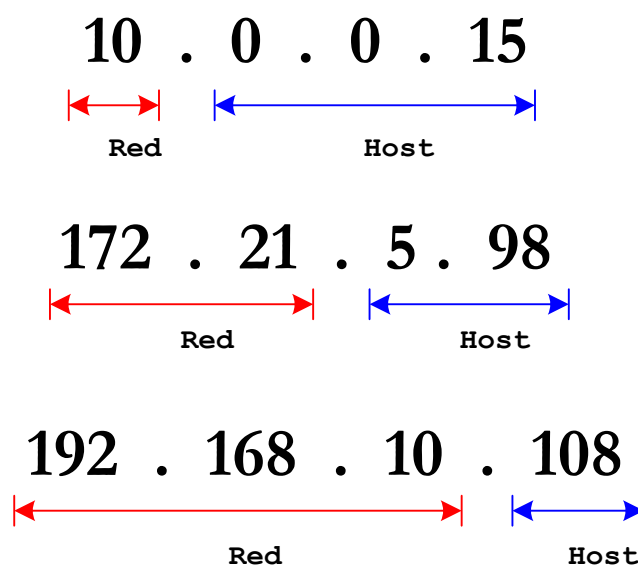


Figura 18: Porciones de red y host de una dirección IP

Las direcciones IP no pueden ser escogidas de manera arbitraria, sino que hay que respetar las condiciones que impone el protocolo IP. Por ello se debe usar un direccionamiento privado, ya que no son direcciones públicas utilizadas en Internet, con un rango de direcciones a utilizar en concreto en función de si se usa un direccionamiento de clase A, B o C. La existencia de estas clases se debe a que en función de la clase que se trate se podrá direccionar un mayor o menor número de dispositivos por red o bien un mayor o menor número de redes diferentes.

La clase A permite definir una sola red con capacidad para direccionar hasta 16.777.214 dispositivos, la clase B permite definir 16 redes distintas de 65.534 dispositivos cada una y la clase C ofrece 256 redes diferentes para direccionar 254 dispositivos.

Evidentemente para el escenario en el que se ejecuta Salta 2.0 resulta más práctico usar direcciones de clase C ya que normalmente van a existir menos de 254 dispositivos, aunque si un grupo de usuarios necesitase definir a una red ad-hoc con mayor número de terminales puede utilizar direcciones privadas de clase A o B.

Las direcciones IP que puede utilizar en función de la clase que desee deben estar comprendidas en los rangos que se detallan en la siguiente tabla:

<b>Clase</b>	<b>Rango</b>	<b>Máscara de red</b>
A	10.0.0.1 – 10.255.255.254	255.0.0.0
B	172.16.0.1 – 172.31.255.254	255.255.0
C	192.168.0.1 – 192.168.255.254	255.255.255.0

Figura 19: Rangos válidos de direcciones

Recuerde que para las direcciones de clase B y C debe escoger para el direccionamiento los mismos valores para la porción de red. Direcciones abadas en 0 o 255 no sol válidas para direccionar dispositivos.

Referente al valor de máscara de red a utilizar en la configuración es el que aparece en la tabla dependiendo de si se trata de una dirección de clase A, B o C.

#### Ejemplos de direcciones pertenecientes a la misma red:

- **10.0.0.5, 10.1.12.3, 10.85.36.41, 10.255.255.6:**  
Todas comparten el primer número siendo diferentes los restantes que hacen referencia a la porción de host.
- **172.15.1.5, 172.15.0.6, 172.15.9.9, 172.15.200.253:**  
Todas las direcciones comparten los dos primeros números siendo diferentes los restantes que hacen referencia a la porción de host.
- **192.168.10.1, 192.168.10.36, 192.168.10.254, 192.168.10.115:**  
Todas las direcciones comparten los tres primeros números siendo diferente el último que hace referencia a la porción de host.

Por último, referente a la puerta de enlace puede definir una dirección IP cualquiera perteneciente a la misma red que la dirección IP del teléfono ya que en este escenario de red no va a utilizar la puerta de enlace para comunicarse con otras redes.

El valor de la puerta de enlace debe ser el mismo en todos los terminales de la red. A modo de sugerencia puede utilizar la última IP disponible de su red para el direccionamiento que ha decidido utilizar.

### 3 PUESTA EN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO COOPERATIVO

Ejemplo de puertas de enlace:

<b>IP Móvil</b>	<b>Puerta de Enlace</b>
10.0.0.1	10.255.255.254
172.20.0.2	172.20.255.254
192.168.30.3	192.168.30.254

Figura 20: Ejemplos de puertas de enlace



# CAPÍTULO 4

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE  
TRÁFICO PRIORITARIO IP  
MULTIMEDIA EN UNA RED WIMAX



### 4 EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE TRÁFICO PRIORITARIO IP MULTIMEDIA EN UNA RED WiMAX

En este capítulo se desarrolla un trabajo que supera la complejidad existente en las comunicaciones inalámbricas a la hora de incluir servicios o aplicaciones cuyo tráfico tiene características muy diferenciadas, como lo que ocurre con la integración de servicios en WiMAX. En este trabajo se realizaron pruebas de tráfico multimedia a través de una red WiMAX experimental desplegada en la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT) para evaluar el rendimiento de la tecnología en términos de QoS y QoE. Los resultados, se obtienen configurando el control de tráfico de Mastershaper en un proxy de Linux antes de entregarlo al enlace Wimax.

#### 4.1 INTRODUCCIÓN

Las aplicaciones de Internet del futuro van a exigir niveles de calidad de servicio (QoS) que superen las expectativas actuales. Actualmente, estamos viendo el despegue de nuevos servicios multimedia como la Televisión sobre IP (IPTV), la Voz sobre IP (VoIP), o los servicios de Salud Electrónica (e-Health). Los requisitos de estas aplicaciones en términos de calidad de servicio están obligando a las organizaciones de normalización (por ejemplo, la UIT, el ETSI, etc.) a realizar un gran esfuerzo. El objetivo es definir unos estándares que cuando son cumplidos por los proveedores (de red, de contenidos o de servicios) garantizan la expectativa de los usuarios finales, en lo que se conoce como Calidad de Experiencia del Usuario (QoE). Ambos términos, QoS y QoE, son totalmente dependientes, teniendo que alcanzar un alto rendimiento en QoS para poder obtener niveles aceptables de QoE. Por ello, uno de los puntos clave para el éxito de las aplicaciones multimedia actuales y futuras, en un mercado en el que cada vez hay más competidores, será disponer de herramientas que permitan a los proveedores ofrecer los niveles de QoS/QoE requeridos. Algunos de los puntos básicos ya verificados que tienen gran influencia en la oferta de servicios multimedia son: pérdida de paquetes, retardo y su variación y ancho de banda.

Además de las características de cada aplicación, hay otros elementos muy importantes que deben tenerse en cuenta en la prestación de QoS/QoE de la Internet del Futuro, como la movilidad mediante redes inalámbricas de área local (WLAN), redes móviles (por ejemplo, 3G) o redes WiMAX. En concreto, WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) es un estándar de comunicaciones inalámbricas orientado a las redes de área metropolitana. Fue especialmente diseñado para trabajar con aplicaciones IP y ofrece acceso inalámbrico de banda ancha tanto para estaciones fijas como móviles, en un radio de 50 km y hasta 15 km respectivamente. Considerada como una tecnología de segunda generación derivada de Wi-Fi, la tecnología WiMAX alcanza tasas de transferencia similares a las de su predecesora. Sin embargo, las mejoras en la eficiencia espectral y en la robustez ofrecen a la tecnología mencionada una mayor escalabilidad y alcance del sistema. La tecnología WiMAX se define bajo el estándar IEEE 802.16, cuyas versiones para dispositivos fijos y móviles se encuentran en los

#### 4 EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE TRÁFICO PRIORITARIO IP MULTIMEDIA EN UNA RED WiMAX

documentos 802.16d [1] y 802.16e [2], respectivamente. Los aspectos que diferencian a WiMAX de otras tecnologías móviles para la transmisión de datos y servicios integrados se refieren al diseño de su capa física. Está especialmente diseñado para la transmisión de datos en entornos urbanos y cuenta con avances como la modulación OFDM [3], sofisticados sistemas de corrección de errores, sistemas de codificación de modulación/adaptación y técnicas de beamforming (AAS).

La unión de ambos escenarios, las redes WiMAX y la provisión de QoS/QoE, es el foco de esta investigación. En [4] un sistema WiMAX Mobile se evalúa desde el punto de vista del rendimiento de las descargas sin actuar sobre ninguno de los mecanismos que el estándar deja abiertos a fabricantes y proveedores. La conclusión lógica es que los mecanismos de programación y QoS son críticos para un rendimiento aceptable de las aplicaciones multimedia y la combinación de tráfico.

Sin embargo, con una adecuada gestión y configuración de recursos, debería ser posible alcanzar un alto nivel de calidad a pesar de operar en un entorno WiMAX, que es lo que los operadores demandan realmente desde el punto de vista de la innovación y el desarrollo. La comunidad europea y los principales fabricantes de hardware móvil han llevado a cabo numerosos proyectos de investigación para hacer frente a este problema y a otros relacionados con las nuevas infraestructuras, protocolos y arquitecturas de red. Un ejemplo son los proyectos Weird [11] y Daidalous [12]. El más reciente proyecto weird ha desplegado diferentes bancos de pruebas de investigación utilizando la tecnología WiMAX para permitir que áreas aisladas se conecten a la red de investigación GEANT2. En este testbed, las capas específicas de WiMAX se analizarán en profundidad y se mejorarán, lo que resultará en una mejor calidad de servicio, gestión de recursos y acceso, autorización de autenticación y contabilidad (AAA) y seguridad, concienciación medioambiental con pleno apoyo a la movilidad.

En la literatura especializada [5], se han propuesto diferentes mecanismos para mejorar el rendimiento y la eficiencia del tráfico IP, tales como la priorización y el filtrado del tráfico, las técnicas de control de la congestión, la asignación de recursos, los protocolos de señalización, etc. En [6], los autores presentan una solución para la gestión de la calidad de servicio en una red WiMAX dentro del Proyecto Europeo Enthroner [7]. Las pruebas se realizaron en una plataforma experimental, formada por un Gestor de Recursos WiMAX ubicado en el Gateway, varias estaciones base y varias estaciones cliente. Sin embargo, aplicaciones como VoIP o IPTV no fueron incluidas en estas pruebas... Los resultados de la evaluación de los servicios VoIP prestados a través de una red híbrida experimental WiMAX/WiFi se muestran en [8]. Específicamente, el objetivo era encontrar el número máximo de llamadas VoIP simultáneas permitidas dentro de este escenario sin reducir la QoE a niveles inaceptables. En este caso, no existe heterogeneidad en el tráfico, por lo que no se utilizó ninguna herramienta de gestión de recursos para tomar las decisiones correspondientes para mejorar los servicios ante situaciones de priorización o congestión. Encontramos otro ejemplo en [9] donde utilizando la plataforma comercial Alvarion BreezeMax, se evaluó la prestación de servicios de VoIP en una red WiMAX. En estos experimentos, el tráfico VoIP compite con el tráfico FTP por los recursos de red. Este

trabajo ofrece resultados interesantes en términos de QoE de las llamadas y resultados preliminares de técnicas de control de acceso que mejoran la QoS global.

La principal conclusión es que, si bien WiMAX es la tecnología más prometedora para permitir el despliegue generalizado de los sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha, es preciso abordar muchas cuestiones para que pueda responder eficazmente a las necesidades y limitaciones de los flujos multimedia de los usuarios finales. Para ello, debe diseñarse e implementarse un algoritmo de programación eficiente habilitado para QoS [16]. Y probablemente esta es la razón por la que, hasta ahora, podemos observar cómo a pesar de que hay algunos resultados incipientes,[17],[18],[19] hay muy pocos datos sobre lo que realmente se puede hacer con WiMAX en la práctica hoy en día.

En este trabajo se presenta un análisis experimental del rendimiento del enlace punto a punto WiMAX en el que se introduce tráfico con diferentes niveles de prioridad. Exploramos el uso de nuevas herramientas de Linux como Mastershaper para gestionar el control de tráfico antes de entregarlo al enlace Wimax. El resultado es lo que buscamos: El uso de la mejor tecnología inalámbrica de acceso que proporciona flujos multimedia con soporte QoS efectivo gracias a los más recientes avances en la gestión del tráfico en redes de datos IP. MasterShaper es un modelador de tráfico de red que proporciona una Interfaz Web para funciones de Calidad de Servicio (QoS) de las nuevas Linux 2.4- & 2.6-Kernel-Series.

Su objetivo es que los usuarios aprendan y utilicen el mecanismo de modelado de tráfico. Esto debería ser posible para todo aquel que no tenga un conocimiento más profundo de Linux y de la difícil sintaxis de los comandos tc del paquete iproute2.

MasterShaper proporciona una Interfaz Web que permite definir tuberías y filtros de ancho de banda (basados en IP, MAC, puertos, protocolos, ipp2p, filtro de capa 7, ....). También dibuja algunos gráficos sobre el uso y la distribución actual del ancho de banda. Ya no hay necesidad de acceso al shell ni de usuarios privilegiados.

El objetivo de Mastershaper es hacer que el modelado de tráfico sea posible para los usuarios que conocen las redes y las capacidades de modelado de tráfico, pero que no tienen mucha experiencia con Linux, scripting y otras herramientas necesarias para hacer este trabajo.

Al final, las características de modelado deben ser comparables con los productos de modelado comerciales como el Netenforcer [13] de Allot o el Packeteers shaper [14].

En este estudio se presta especial atención a ciertos parámetros que describen los niveles de calidad de voz y vídeo en las redes IP. A través de estas pruebas, hemos verificado que el enlace WiMAX es capaz de garantizar niveles de QoS suficientemente satisfactorios para transportar tráfico IP Multimedia sensible al retardo. Los resultados muestran que ciertos parámetros del tráfico sensible al retardo, como el rendimiento, la fluctuación o la puntuación media de opinión (MOS), no se ven afectados por una serie de experimentos en los que se han reproducido diversas situaciones de saturación.

## 4 EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE TRÁFICO PRIORITARIO IP MULTIMEDIA EN UNA RED WiMAX

El resto del capítulo se divide de la siguiente manera. En la sección 4.2 se identifican los códigos de control y gestión del tráfico IP en las redes WiMAX a nivel de acceso. La sección 4.3 trata de los mecanismos a nivel de red utilizados en WiMAX para soportar el tráfico multimedia IP. En el apartado 4.4 se describen las principales características del testbed y su configuración. La sección 4.5 presenta las aplicaciones utilizadas para llevar a cabo la evaluación del rendimiento de la red. La sección 4.6 muestra los resultados de los experimentos. Finalmente, las conclusiones de la sección 4.7 sintetizan todo el trabajo.

### 4.2 IMPORTANCIA DEL CONTROL Y LA GESTIÓN DEL TRÁFICO IP EN LAS REDES WiMAX

Para entender los problemas relacionados con el despliegue de este tipo de redes inalámbricas, es necesario explicar previamente algunos aspectos importantes sobre la situación de WiMAX dentro de las tecnologías de acceso a los medios existentes (cubriendo la funcionalidad que ofrece y las capas que implementa) y sobre su diseño. Las siguientes subsecciones tratan de dar esta perspectiva.

#### 4.2.1. WiMAX como tecnología de acceso a los medios de comunicación

Como hemos comentado anteriormente, el estándar 802.16 en el que se basa el WiMAX implementa la capa física (PHY) y el control de acceso a los medios (MAC). Por sí sola, la capa física WiMAX supone un avance considerable con respecto a otros estándares anteriormente empleados por las redes WMAN. Sin embargo, su capa MAC también supone un avance considerable, gracias a la distribución dinámica de medios cuando varias redes WiMAX coexisten en la misma ubicación geográfica.

Por lo tanto, hay que tener en cuenta varias consideraciones a nivel físico. Por un lado, la presencia de obstáculos en altas frecuencias provoca grandes caídas de cobertura, lo que implica la utilización de modulaciones como la OFDM para reducir los efectos multitrayecto y conseguir cobertura en zonas sin visibilidad directa (NLOS). Por otro lado, se utilizan canales con gran ancho de banda, normalmente los que están por encima de 10 MHz. Todo ello permite suministrar enlaces de carga y descarga de alta capacidad (hasta 75 Mbps en canales de 20 MHz).

Adicionalmente, las versiones posteriores del estándar han incluido tecnologías que han supuesto una mejora en cuanto a cobertura y eficiencia espectral. En primer lugar, tecnologías como las técnicas de modulación adaptativa, las técnicas de corrección de errores (códigos FEC) y las antenas direccionales adaptativas (Beamforming), que han permitido una mejora significativa de la cobertura de estos sistemas, que alcanza hasta 50 km. En segundo lugar, el control de potencia, las técnicas de multiplexación espacial (STC) y las antenas inteligentes (AAS) proporcionan a esta tecnología una mayor capacidad de transmisión de datos sin aumentar el consumo de ancho de banda, especialmente en entornos con interferencias.

Gracias a la incorporación de este conjunto de tecnologías, el estándar es ahora capaz de proporcionar características en cuanto a rendimiento, eficiencia y cobertura que superan todas las expectativas de los estándares de la competencia como HPDA o LTE.

El nivel MAC fue diseñado específicamente para un entorno inalámbrico punto a multipunto (PMP). Soporta protocolos de transporte como ATM, Ethernet o IP, y puede acomodar fácilmente futuros protocolos gracias a su diseño escalable.

### 4.2.2. La capa WiMAX MAC

Hasta ahora hemos comentado algunas características importantes de WiMAX que dependen de la capa física. En general, esta capa no tiene información de los requisitos de QoS existentes e ignora la naturaleza del tráfico (VoIP, HTTP, FTP, etc.). Sin embargo, la capa MAC que está justo encima es responsable de, entre otras cosas:

- Selección del perfil de modulación y codificación adecuado.
- Alcanzando nuevas estaciones.
- Control y distribución de ancho de banda de comunicaciones diversas en un solo enlace.
- Segmentación y concatenación de las PDU (Protocol Data Units) con las SDU (Service Data Units) de la capa superior.
- Retransmisión de PDU erróneas si se utilizan protocolos de retransmisión (HARQ).
- Suministro de QoS y gestión de prioridades de las diferentes conexiones.
- Planificación del envío de PDU por radioenlaces.
- Dar soporte a las capas superiores para la gestión de la movilidad de los usuarios.
- Gestión de la seguridad y de las claves.
- Control del consumo de energía mediante modos de funcionamiento como *"ahorro de energía"* y *"inactivo"*.

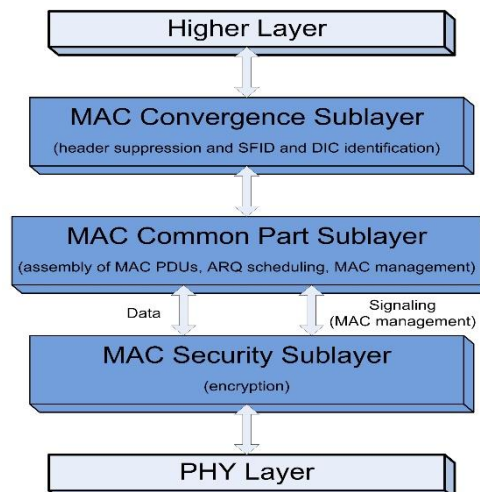


Figura 1. Módulos de capa MAC en WiMAX

Como se puede ver en la figura anterior, la capa MAC se divide en tres partes: la subcapa de convergencia (CS), la subcapa de parte común y la subcapa de seguridad.

#### 4 EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE TRÁFICO PRIORITARIO IP MULTIMEDIA EN UNA RED WiMAX

La subcapa CS recibe paquetes de la capa superior, conocidos como paquetes SDU, y es responsable de llevar a cabo todas las operaciones que dependen de la naturaleza del protocolo de la capa superior, como la supresión de encabezados y ajustes de dirección. En general, la subcapa CS es considerada como una capa de adaptación que enmascara los protocolos de la capa superior y sus requerimientos del resto de la red WiMAX MAC y de la capa física.

La subcapa de la parte común realiza todas las operaciones de fragmentación y concatenación de las SDUs en las PDUs MAC, su transmisión, control de calidad de servicio y retransmisión de las PDUs perdidas (ARQ). A su vez, la subcapa de seguridad realiza las operaciones de encriptación, autorización e intercambio de claves entre las estaciones base y móviles.

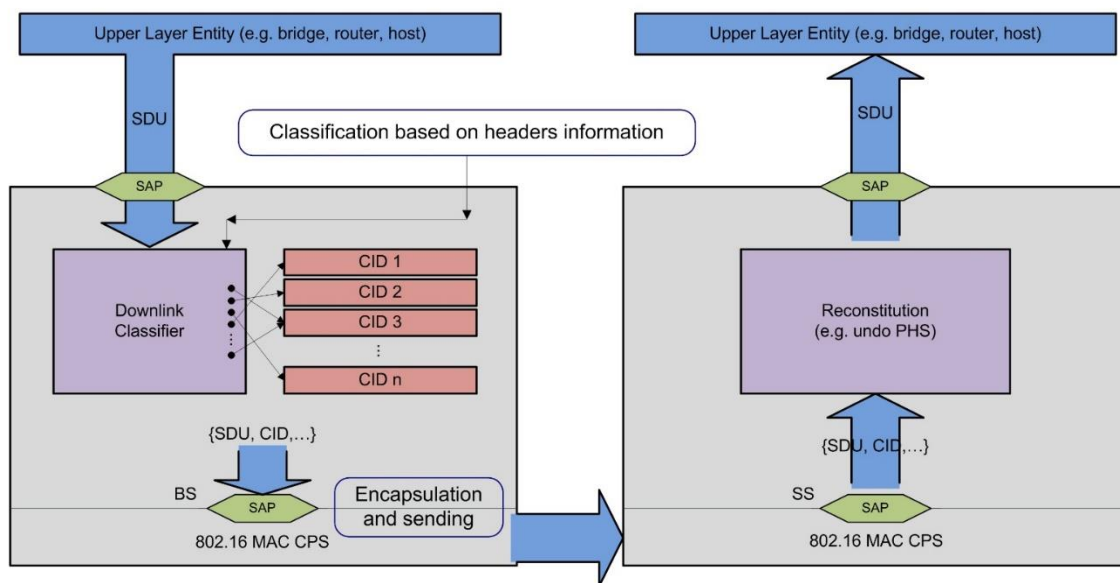


Figura 2. Subcapa de convergencia WiMAX MAC

Como hemos comentado anteriormente, la subcapa de convergencia (CS) (figura 2) es responsable de ajustar tanto las direcciones de la capa superior como las direcciones IP de las SDUs en el MAC y los identificadores de conexión física que se utilizarán para la transmisión. Esta es una tarea fundamental, ya que el MAC y la capa física no tienen visibilidad de las direcciones IP.

La capa MAC WiMAX está orientada a la conexión e identifica una conexión lógica entre una estación base (BS) y una estación móvil (MS) por medio de un identificador unidireccional llamado CID (Connection Identifier). Los CIDs son diferentes en los canales de carga y descarga, y generalmente pueden ser vistos como direcciones temporales y dinámicas de la capa 2 (capa de enlace de datos) asignadas por la estación base para identificar una conexión unidireccional usada para transportar datos y control. Las SDU con la misma dirección de destino pueden ser transportadas en diferentes CIDs dependiendo de los requisitos de QoS, en cuyo caso además se utilizan otros factores como el SFID (Service Flow Identifier) y la dirección de origen.

### 4.3. ARQUITECTURA DE RED WIMAX

Esta sección trata de la arquitectura de red WiMAX de extremo a extremo. Claramente, la especificación de sólo la capa física y la capa MAC (estándar IEEE 802.16) no es suficiente para construir una red inalámbrica de banda ancha interoperable. Por lo tanto, el Grupo de Trabajo de Redes del Foro WiMAX (NWG) ha desarrollado y estandarizado aspectos de red de extremo a extremo, tales como: Conectividad IP, seguridad, QoS y gestión de la movilidad. La Figura 3 muestra un modelo de referencia simplificado de la arquitectura de red WiMAX.

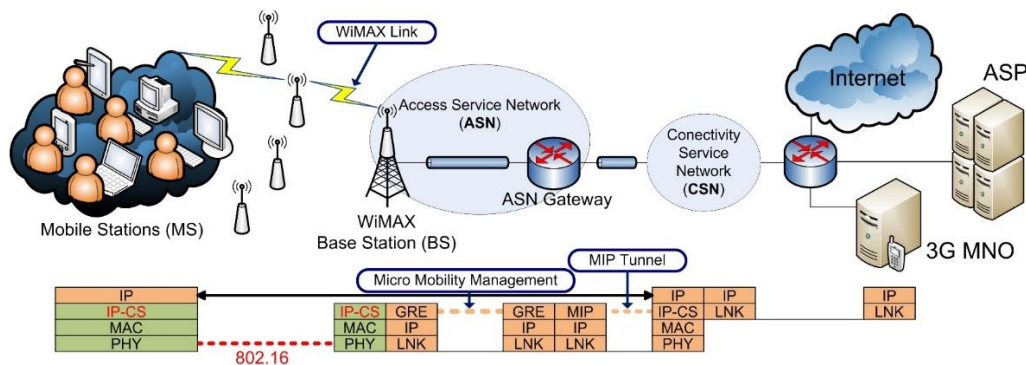


Figura 3. Arquitectura básica de red WiMAX

Este modelo se divide en tres partes:

- MS (Mobile Station) o terminal de usuario para acceder a la red.
- ASN (Access Service Network). Cuenta con varias estaciones base (BS) y varios routers ASN-GW (ASN Gateway), formando así la red de acceso radioeléctrico.
- CSN (Connectivity Service Network). Proporciona conectividad IP y todas las funciones de una red central.

La arquitectura WiMAX puede soportar paquetes IP y Ethernet. Sin embargo, los paquetes IP pueden ser transportados utilizando la subcapa de convergencia IP-CS o la subcapa ETH-CS (sobre WiMAX Mobile).

Finalmente, es importante destacar que WiMAX ha sido diseñado fundamentalmente para proveer servicios IP (multimedia: datos, voz, video, etc.), por lo que un aspecto importante a la hora de proveer estos servicios con garantías de calidad de servicio de extremo a extremo es la discusión de las diferentes arquitecturas de protocolo propuestas principalmente por el IETF, entre las que destacan las siguientes: Servicios Integrados (IntServ), Servicios Diferenciados (DiffServ) y MPLS.

El éxito de la implementación de estas propuestas dependerá en gran medida de la estrategia de planificación empleada en la capa MAC. En WiMAX esta planificación se basa en mecanismos de solicitud de permisos y concesiones. Principalmente, se utilizan diferentes mecanismos de encuesta, poniendo en segundo plano los mecanismos de contención para las comunicaciones de multidifusión. Por lo tanto, todas las tareas de planificación de recursos son

#### 4 EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE TRÁFICO PRIORITARIO IP MULTIMEDIA EN UNA RED WIMAX

responsabilidad de la EB, que también se encarga de conceder los permisos. Dentro de la misma EB, la asignación de CDI a cualquier flujo lógico de paquetes dependerá del tipo de servicio del flujo de datos. En WiMAX, encontramos cinco niveles de servicio diferentes según la naturaleza del tráfico:

1. Servicios de subvenciones no solicitadas (UGS): Este tipo de servicio se utiliza para flujos de tráfico altamente sensibles al retardo con un tamaño de SDU constante. Tras el establecimiento inicial de la conexión, la EB concede regularmente una cantidad de banda ancha (UL/DL) a la EM. Gracias a esta preasignación de recursos, los Estados miembros no tienen que presentar nuevas solicitudes de permisos y los retrasos son menores.
2. Servicios de sondeo en tiempo real (rtPS): a diferencia de la UGS, aquí no hay recursos preestablecidos. La EB funde de forma regular e individual cada EM (unidifusión). Esto permite al MS hacer solicitudes de ancho de banda de acuerdo a sus necesidades. Este tipo de servicio optimiza el tráfico de tasa variable con requerimientos de tiempo real (VBR).
3. Servicios de sondeo en tiempo no real (nrtPS): de forma similar al rtPS, este nivel de servicio permite solicitar ancho de banda con regularidad, pero a diferencia del rtPS, la EB no consulta con tanta frecuencia a los Estados miembros y puede hacer no sólo peticiones individuales sino también peticiones por contención, aumentando el tiempo medio de consulta y el retraso.
4. El mejor esfuerzo (BE): Se caracteriza porque se adapta al tráfico enviado cuando el resto de los tipos no requieren recursos; los Estados miembros llegan a este servicio en base a la contención, siempre que la EB les ofrece la oportunidad de solicitar ancho de banda para esos servicios.
5. Servicio de sondeo en tiempo real ampliado: Con este servicio, una EB garantiza que la EM dispondrá regularmente de cierto ancho de banda similar al UGS y también ofrecerá regularmente a la EM la oportunidad de solicitar más recursos, al igual que el rtPS.

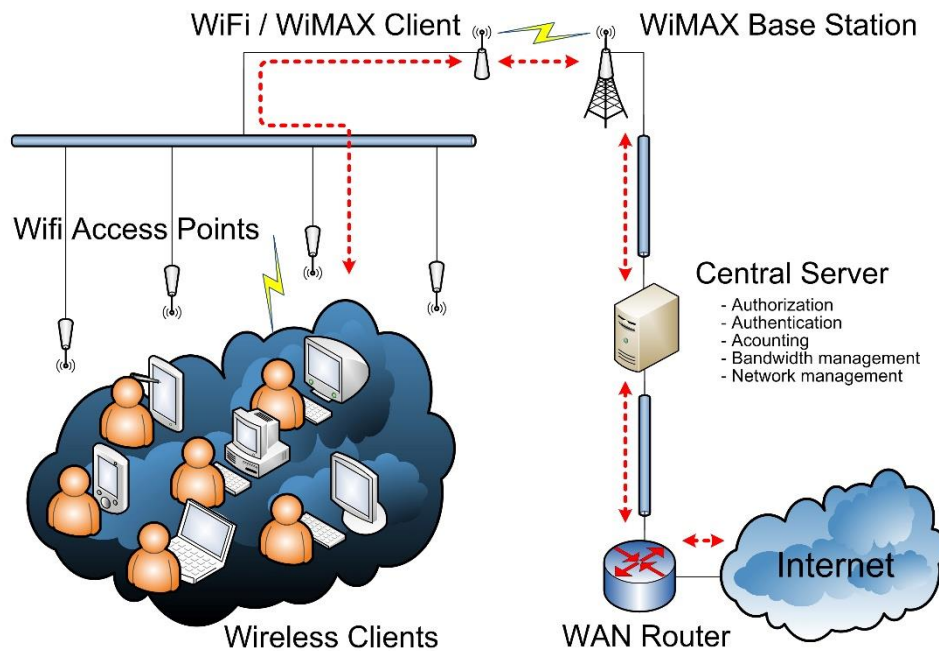
De esta forma, una EB puede asignar cualquier tipo de tráfico con QoS (MPLS, IntServ, DiffServ, RTP, etc.) y garantizar que se cumplan los requisitos de retardo y ancho de banda de cada flujo de servicio.

Cabe mencionar que esta norma permite a los fabricantes elegir el algoritmo de planificación. Esto significa que el diseñador del equipo puede elegir tanto la asignación de recursos y prioridades como el mapeo de flujos a los servicios. Las causas de los gastos generales, como el número de consultas a la EM por parte de una EB y el número medio de intentos de acceso por contención, figuran entre los principales parámetros de diseño que deben optimizarse. Por otra parte, los parámetros de diseño relacionados con el tráfico, como el número de paquetes perdidos, el rendimiento, el retardo y otros parámetros relacionados con la calidad del tráfico multimedia de extremo a extremo, son muy influyentes. Éstos se estudian en detalle en la sección 4.4.



#### 4.4 PRUEBA DE LA ARQUITECTURA DE DESPLIEGUE DE RED

El escenario real creado consiste en una red de acceso WIFI-WiMAX desplegada en la Universidad Politécnica de Cartagena cuya arquitectura de red aparece en la siguiente figura 4. El esquema corresponde al de la red WiMAX básica que se muestra en la figura 3.



**Figura 4. Prueba de la arquitectura de despliegue de red**

La línea de puntos roja indica la forma en que fluye el tráfico en ambas direcciones. En un extremo, los clientes finales tienen acceso a la red mediante puntos de acceso WiFi conectados al cliente WiMAX. La estación base WiMAX está cableada directamente al servidor que finalmente da acceso a Internet por medio de un router WAN. El servidor central es un ordenador de sobremesa con dos tarjetas Ethernet.

La red desplegada se utilizó para todas las pruebas descritas en este trabajo.

La estación base utilizada fue un punto-multipunto BreezeMax BS Alvarion WiMAX. Funciona en modo punto a multipunto a una frecuencia de 5,4 GHz con una velocidad de transferencia de 14 Mbps. Actualmente está instalado en la parte más alta del campus para maximizar la cobertura, como se muestra en la Figura 5.

#### 4 EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE TRÁFICO PRIORITARIO IP MULTIMEDIA EN UNA RED WIMAX



Figura 5. (a) Estación base. b) Escenario utilizado para el despliegue.

La antena cliente WiMAX (ver figura 6) se encuentra en el otro extremo del campus y está conectada directamente mediante un cable Ethernet a un punto de acceso WiFi con una velocidad de transferencia de 54 Mbps mediante el cual los usuarios acceden a la red desplegada y a Internet.



Figura 6. Detalles de la antena cliente WiMAX

##### 4.4.1. Gestión de recursos de red. Parámetros de tráfico

Dada la situación del servidor central, podemos asegurar que todo el tráfico generado o recibido por los usuarios pasará a través de sus interfaces de red. De esta manera, es muy fácil hacer un procesamiento / clasificación de acuerdo a varias de sus características. Algunos de ellos (los más habituales) podrían ser: la dirección IP de origen o destino de los paquetes, puerto o protocolos, etc.

Después de este proceso de marcado de paquetes, podremos aplicar políticas para asegurar ciertos estándares de calidad de servicio.

En este punto, debemos resaltar la importancia de tener una interfaz de configuración para hacer la priorización de tráfico más flexible y completa. De hecho, nuestro éxito con la red y

nuestro control sobre el tráfico dependen en gran medida de la riqueza de esta interfaz. Asimismo, este control puede responder a diversas políticas como la reserva de cierto ancho de banda por usuario, la minimización del retardo de tráfico de determinadas aplicaciones o protocolos que lo requieran (por ejemplo, VoIP o IPTV) o la priorización de cierto tráfico en colas, entre muchas otras, para cualquier host de la red gestionada.

Antes de implementar un sistema de QoS es aconsejable conocer la forma y las diferentes fases del tráfico gestionado. En general, cuando llega un paquete, el sistema lo marca según unos criterios predefinidos (puerto/fuente/dirección de destino, etc.) para luego pasarlo a un subsistema de colas que materializa el control de tráfico en base a una disciplina de colas.

### 4.4.2 Configuración de la interfaz QoS

La herramienta que nos permitirá configurar todos los parámetros relacionados con la calidad de servicio se basa en MasterShaper. En primer lugar, es necesario definir los parámetros generales del sistema, como el ancho de banda total disponible o la cantidad y configuración de las diferentes interfaces de red del servidor. También asignaremos en este primer paso el clasificador de paquetes por defecto y la disciplina de cola del sistema.

A partir de ahí, podremos definir "reglas y políticas" específicas para priorizar el tráfico dentro del sistema. Para ello, definiremos una serie de elementos denominados cadenas, filtros y tuberías, tal y como se describe a continuación.

Las cadenas son estructuras lógicas de alto nivel mediante las cuales se reserva un ancho de banda para todo el tráfico que pasa por ellas. A su vez, los oleoductos recogen ciertos tipos de tráfico a los que se aplica un nivel de servicio determinado. Cualquier tubería definida debe estar asociada a una sola cadena. Finalmente, los filtros definidos determinarán qué tráfico se asigna a cada tubería, dado que una tubería puede estar asociada a uno o más filtros.

Para crear una cadena es necesario definir su nombre, el estado inicial (activo o inactivo), el nivel de servicio determinado y los objetivos a los que se dirige (IP, MAC, dirección, etc.).

Para crear archivadores, esta aplicación ofrece una interfaz para definir el tipo de tráfico a etiquetar. El primer paso es configurar el nombre del filtro, su estado (activo/inactivo), el tipo de protocolo de transporte (TCP, UDP) y los puertos que utilizará el tráfico. A continuación, se deben establecer las coincidencias objetivo, que pueden definirse como direcciones IP o MAC y que pueden ser origen o destino del tráfico a filtrar. A su vez, las banderas TCP a filtrar, así como la longitud o intervalo de longitudes de los paquetes a filtrar, pueden ser marcadas. Por último, se define el tipo de tráfico por nivel de aplicación y, utilizando los datos IPP2P (identificar datos peer-to-peer (P2P) en el tráfico IP), se identifica el tráfico P2P de las principales aplicaciones para su posterior priorización.

Asimismo, mediante la herramienta I7-filtro, podemos seleccionar más de 60 tipos de patrones de tráfico a nivel de aplicación.

Cada tipo de tráfico requerirá un nivel de servicio diferente que será determinado por los siguientes parámetros configurables: velocidad binaria por segundo, retardo máximo permitido

## 4 EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE TRÁFICO PRIORITARIO IP MULTIMEDIA EN UNA RED WIMAX

y prioridad de procesamiento de colas. De esta manera, por ejemplo, se pueden definir niveles de servicio para IPTV, P2P, VoIP y otros.

A la hora de crear una tubería debemos definir la dirección del tráfico a incluir dentro de la misma, así como el filtro o filtros a utilizar. Y, finalmente, debemos asignar uno de los niveles de servicio definidos.

Como ya hemos comentado, estos elementos nos permiten monitorizar todos los aspectos de un escenario de calidad de servicio: los filtros seleccionados determinan el tipo de tráfico a tratar; los niveles de servicio (determinados por la tasa binaria por segundo, el retardo máximo permitido y la prioridad de procesamiento de colas) se aplican en consecuencia a las tuberías y, finalmente, las cadenas permiten establecer reservas de ancho de banda.

### 4.5 MONITORIZACIÓN DE HARDWARE Y DE RED

En este apartado se detallan las aplicaciones utilizadas para la monitorización de los parámetros y características más relevantes de la red de prueba real, así como otras medidas de interés.

Para esta monitorización, hemos optado por analizar el tráfico que pasa por el mencionado servidor centralizado. Dada su situación estratégica, el servidor es el mejor lugar para hacerlo, mediante la herramienta de monitorización Ntop (ver.3.3.10) Esta aplicación permite identificar la actividad de todo el tráfico relacionado con un determinado host (nombre, NIC o dirección IP) y registrar información detallada, que puede incluir:

- Volumen total de tráfico y paquetes generados o recibidos por el host, clasificados por protocolo de red (IP, IPX, AppleTalk, etc.) y, si es necesario, por protocolo IP (FTP, HTTP, NFS, etc.).
- Cantidad total de tráfico multicast (volumen y paquetes) generado o recibido por el host.
- Lista de sesiones TCP activas establecidas y aceptadas por el host con estadísticas del tráfico relacionado.
- Cantidad total de tráfico (volumen y paquetes) ordenado por puerto; además, puede reconocer escaneos de puertos o protocolos.
- Lista de servicios basados en IP (como puertos abiertos y activos) proporcionados por el host, incluyendo una lista de los cinco últimos hosts utilizados.
- Porcentaje de ancho de banda utilizado - uso actual, promedio y pico del ancho de banda.
- Distribución del tráfico - tráfico local (subred), tráfico local frente a tráfico remoto (subred externa local/específica) y tráfico remoto frente a tráfico local.

Además, para asegurar el correcto funcionamiento del servidor, es necesario monitorizar los aspectos de hardware y software. Para ello se instala la herramienta Munin (ver 1.4.0), mediante la cual se pueden monitorizar la mayoría de los parámetros de hardware y software del servidor

(uso del sistema de ficheros, temperatura de los discos duros, tráfico MySQL, estado de la red Netstat, uso de memoria RAM, etc.).

También es importante dotar al sistema de una interfaz para gestionar el servidor. Para ello hemos utilizado Webmin (ver 1.441), una herramienta de configuración de sistemas Web accesible para sistemas Unix que permite configurar aspectos internos como usuarios, cuotas de espacio, servicios, archivos de configuración, apagado de equipos, etc., así como modificar y controlar muchas aplicaciones, como el servidor Web Apache, PHP, MySQL, DNS, Samba o DHCP, entre muchas otras.

### 4.5.1. Control de tráfico

Para tomar medidas de la red de pruebas desplegada hemos utilizado un software de generación de tráfico comercial, IxChariot [10], que es capaz de producir diferentes informes sobre las transferencias realizadas y que proporciona una gran variedad de combinaciones de tipos de tráfico para los diferentes hosts.

Sólo se ha configurado un PC para que actúe como maestro para el resto, que actúan como esclavos y entre los que se generan flujos de tráfico. Una vez finalizada la prueba, el PC maestro recibe los datos y genera los informes.

IxChariot es un software muy potente y especializado capaz de generar flujos de tráfico de Voz sobre IP, IPTV, tráfico Web y P2P, así como de monitorizar varios parámetros de red.

A partir de los informes, se puede realizar una comparación de los resultados de las pruebas para detectar posibles fallos en el ancho de banda utilizado, retrasos, pérdida de datos, fluctuaciones, etc.

Después de introducir el diseño (figura 4) en el generador de tráfico, es necesario especificar los flujos de tráfico que circulan entre cada una de las computadoras de la pomada.

En el caso de los intercambios de flujos, también es necesario indicar los tipos de tráfico que deben intercambiarse y los flujos que deben analizarse.

La figura 7 muestra el escenario desplegado para las pruebas.

#### 4 EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE TRÁFICO PRIORITARIO IP MULTIMEDIA EN UNA RED WIMAX

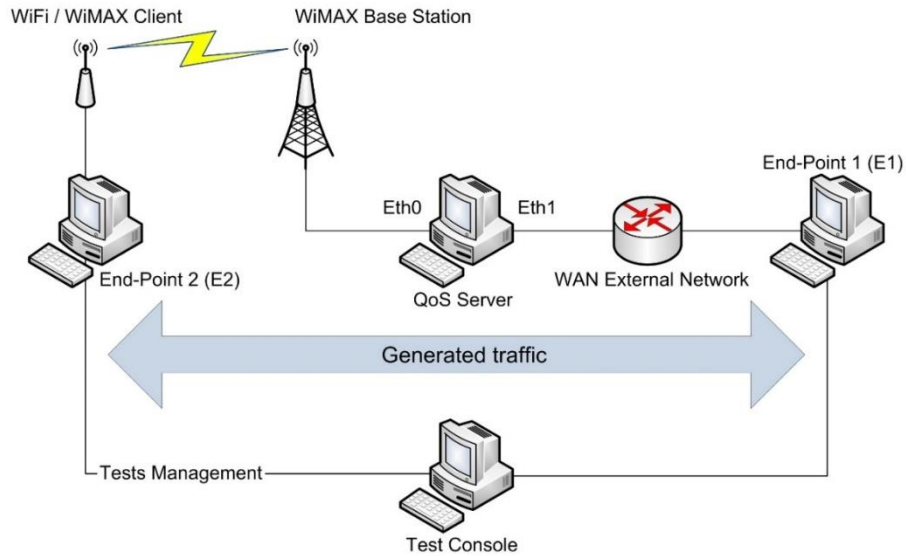


Figura 7. Red desplegada para las pruebas

### 4.6 RESULTADOS

Con el fin de evaluar experimentalmente el comportamiento de la arquitectura de hardware desplegada y su rendimiento en relación con varios parámetros o cifras de mérito relevantes (FoM), se llevaron a cabo tres pruebas con diferentes tipos de tráfico y esquemas de priorización que se describen a continuación.

#### 4.6.1. Prueba 1: Tráfico y configuración

Transmisión de 2 canales IPTV, de 1451 Kbps/canal y 1 canal VoIP de 64Kbps, desde un PC transmisor (E1) al receptor (E2). El servidor está configurado para asegurar la recepción correcta de sólo 1 canal IPTV y una llamada VoIP.

Como esperábamos, el canal VoIP fue transmitido correctamente sin retrasos ni pérdidas. Mientras que los canales de IPTV, al pertenecer al mismo tipo de tráfico, tuvieron que compartir ancho de banda y fueron recibidos con una pérdida aproximada del 50% cada uno:

Grupo	Bytes enviados de E1 a E2	Bytes recibidos por E2 desde E1	Bytes perdidos de E1 a E2	% de bytes perdidos de E1 a E2	Duración de la(s) medición(es)
VoIP	480,000	480,000	0	0	60.035
IPTV-1	10,948,540	5,594,720	5,353,820	48.9	61.43
IPTV-2	10,950,000	5,593,260	5,356,740	48.92	61.416
<b>Total</b>	<b>22,378,540</b>	<b>11,667,980</b>	<b>10,710,560</b>	<b>47.861</b>	

Tabla 1. Resultados de la prueba 1

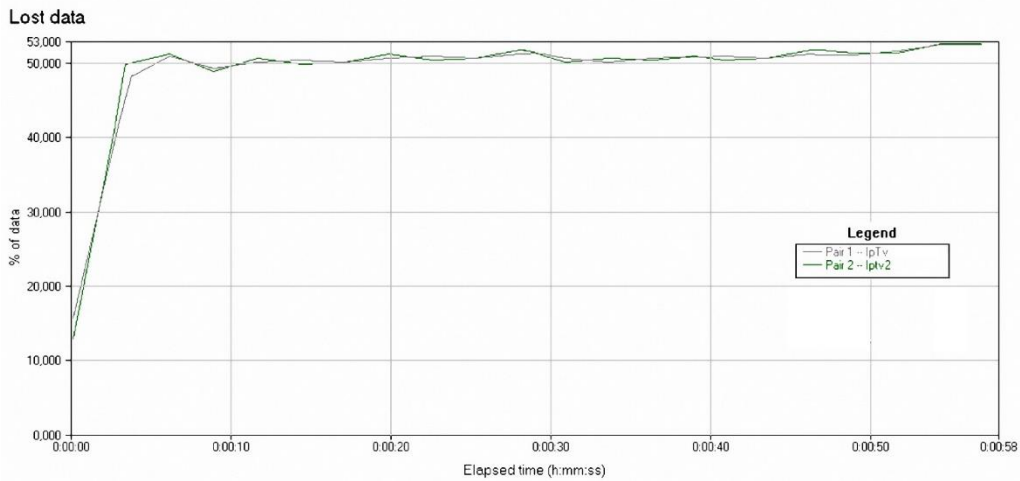


Figura 8. Porcentaje de tráfico perdido por canal IPTV en la prueba 1

4.6.2. Prueba 2: Tráfico y configuración

Transmisión de 2 canales IPTV, de 1451 Kbps/canal y de 1 canal VoIP de 64 Kbps, como antes, desde un PC emisor (E1) a otro receptor (E2). Asimismo, en esta prueba hemos incluido una transmisión HTTP que genera 65535 Kbps (y por lo tanto excede el ancho de banda disponible en 5400 Kbps). Por último, se incluye una fuente de tráfico tipo P2P Kazaa.

El servidor está configurado para asegurar la correcta recepción de los canales IPTV y VoIP sobre el resto. Se asigna una prioridad mínima al tráfico P2P.

El canal VoIP y los dos IPTV se transmiten correctamente. El ancho de banda restante (2500 Kbps) es utilizado por el tráfico HTTP. El tráfico P2P no fue transmitido:

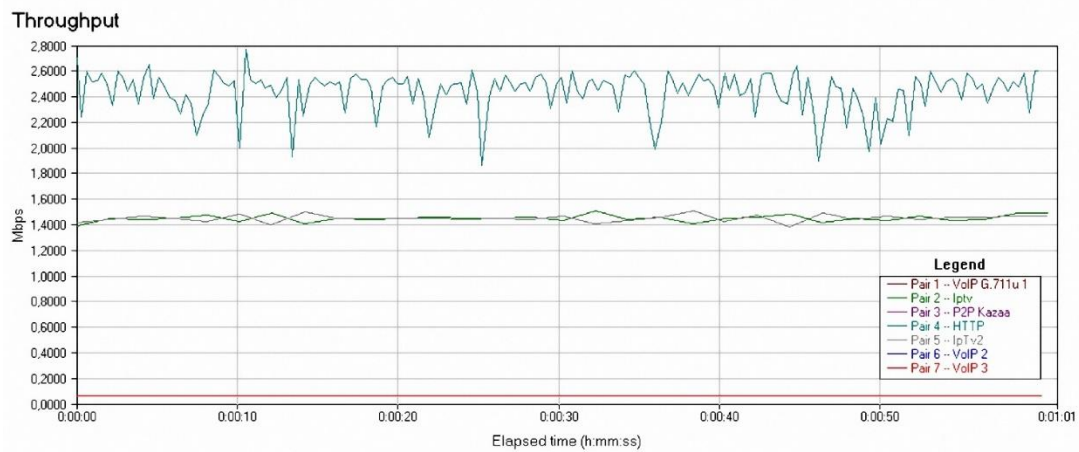


Figura 9. Medición del caudal por canal para la prueba 2

## 4 EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE TRÁFICO PRIORITARIO IP MULTIMEDIA EN UNA RED WIMAX

### 4.6.3. Prueba 3: Tráfico y configuración

Transmisión de 2 canales IPTV, 12 canales VoIP y tráfico HTTP. Tanto los canales IPTV como los de VoIP comienzan a transmitir con un retardo intencional de 10 segundos respecto al tráfico HTTP (de menor prioridad).

Como antes, el servidor está configurado para asegurar la correcta recepción de los canales IPTV y VoIP sobre el resto.

El canal VoIP y los dos IPTV se transmiten correctamente. El tráfico HTTP, que requiere todo el ancho de banda del canal, sólo recibe el tráfico disponible en función de la ocupación IPTV y VoIP.

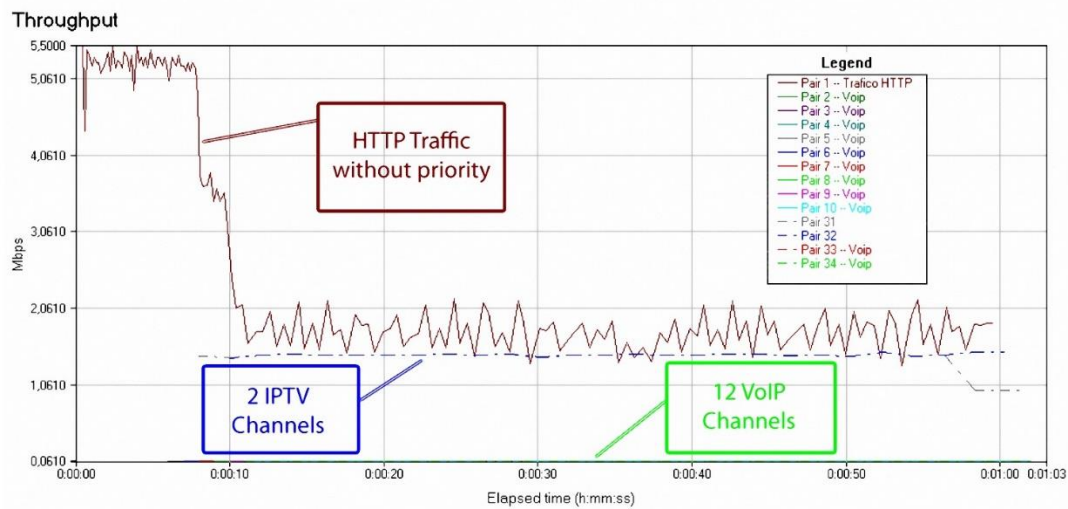


Figura 10. Medición del caudal por canal para la prueba 2

Siendo esta la prueba más completa, ha incluido varias mediciones de algunas de las cifras que se consideran más críticas para una comunicación VoIP, con el fin de comprobar la calidad del enlace y su validez para este tipo específico de tráfico.

Algunos de ellos son el retardo, el jitter o la dispersión, las pérdidas y los parámetros de calidad de voz (MOS).

En cuanto al retardo, el nivel máximo para una transmisión generalmente aceptable es de unos 150 ms. (UIT). La siguiente figura muestra cómo el retardo de la comunicación VoIP nunca supera los 60 ms.



#### 4 EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE TRÁFICO PRIORITARIO IP MULTIMEDIA EN UNA RED WIMAX

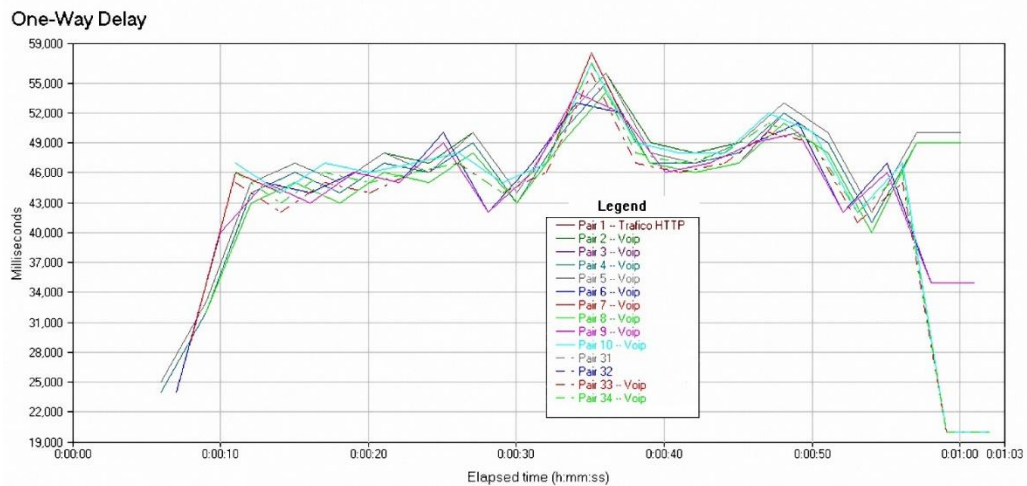


Figura 11. Retraso de tráfico VoIP detectado durante la prueba 3

La fluctuación o dispersión temporal también es óptima, ya que no supera en ningún momento el nivel de 6 ms.

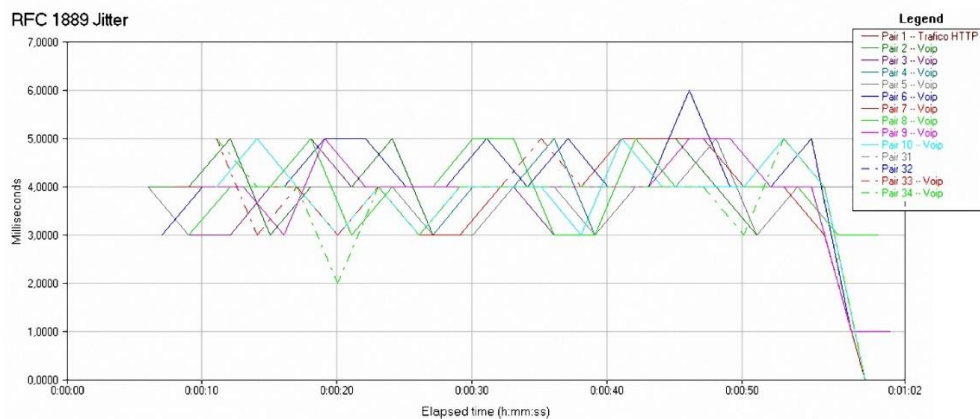


Figura 12. Jitter experimentado por el tráfico VoIP durante la prueba 3

Por último, el MOS (Mean Opinion Score) refleja de alguna manera la calidad de voz observada en una escala de 0 a 5. En las pruebas realizadas, se obtuvo un valor aproximado de 4,36 MOS, como se puede observar en la siguiente figura:

## 4 EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE TRÁFICO PRIORITARIO IP MULTIMEDIA EN UNA RED WIMAX

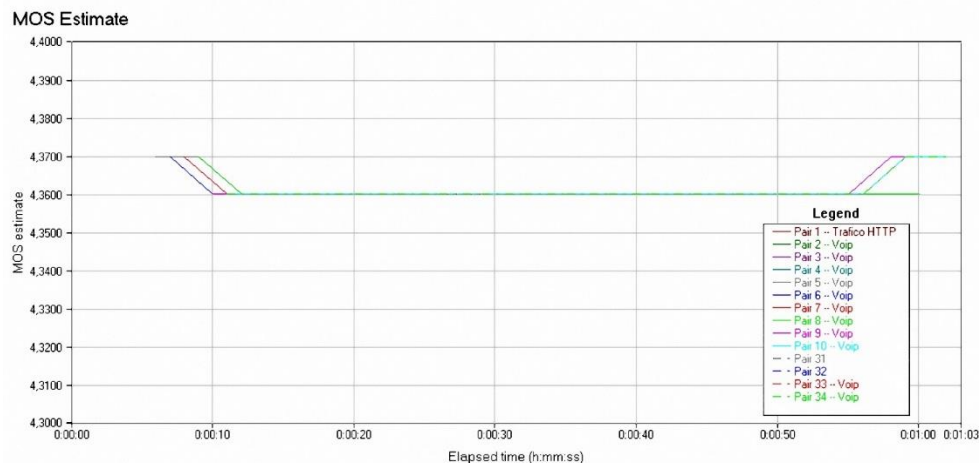


Figura 13. MOS medido durante la prueba 3

Este último parámetro confirma que todas las conversaciones de voz fueron de alta calidad, ya que no se retrasaron excesivamente y el jitter no duró mucho.

De esta manera, definitivamente, aunque el canal se ha saturado varias veces y ha habido varios tipos de tráfico inyectado en la red, el esquema de prioridad configurado y el ancho de banda reservado para VoIP han sido suficientes para alcanzar el nivel de QoS deseado.

### 4.7 CONCLUSIONES

En este trabajo se evaluó experimentalmente la respuesta de una red WiMAX cuando se utiliza para transportar tráfico procedente de diversas prioridades. De este modo, podemos asegurar que los mecanismos de QoS empleados en el WiMAX y la gestión del tráfico implementada en el servidor utilizado en el experimento gestionan con éxito los tipos de tráfico con mayores requisitos de retardo y rendimiento que otros servicios con niveles de requisitos más bajos. Los resultados muestran una rápida reacción del sistema al reducir el número de paquetes en los flujos de tráfico con baja tolerancia a las altas fluctuaciones. Por otro lado, puede apreciarse cómo el sistema lleva a cabo una discriminación entre el tráfico de diferentes tipos de servicios, penalizando inicialmente aquellos que están marcados como servicios HTTP de baja prioridad (marcados como BE o nrtPS) o IPTv (tipo rtPS). WiMAX realmente trabaja tratando con la mezcla de tráfico en combinación con herramientas como NetShaper que ayudan a manejarla evitando la compleja configuración de los equipos WiMAX. Esto es de gran interés para los nuevos operadores de telecomunicaciones que prestan servicios multimedia en bandas sin licencia.

### 4.8 REFERENCIAS

- [1] IEEE. 802.16-2004. IEEE. Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, 2004.

- [2] IEEE 802.16e. Capas de control de acceso físico y medio para la operación combinada fija y móvil en bandas licenciadas. 2005.
- [3] R. Prasad, OFDM para sistemas de comunicaciones inalámbricas, Artech House, ISBN: 1-58053-796-0, 2004.
- [4] Huang, C.; Juan, H.; Lim, M.; Chang, C. Radio Resource Management of heterogeneous services in mobile WiMAX systems. IEEE Wireless Communications 2007, 14 (1), 20-26.
- [5] Kun I. Park. QoS en redes de paquetes. ISBN 0-387-23390-3/x. Ed. Ciencia Springer. 2005.
- [6] Obreja, S.G.; Lupu, R.; Borcoci, E.; Fratu, O. Una solución de gestión de recursos WiMAX integrada con un sistema de gestión de la calidad de servicio de extremo a extremo. En Proc. Wireless VITAE 2009, 87-91.
- [7] <http://www.ist-enthroner.org>. Accedida el 08/06/2019
- [8] Peh, E. W. C.; Seah, W. K. G.; Chew, Y. H.; Ge, Y. Estudio experimental de servicios de Voz sobre IP sobre redes inalámbricas de banda ancha. En Proc. International Conference on Advance Information Networking and Applications 2008, 834-839.
- [9] Scalabrino, N.; de Pellegrini, F.; Riggio, R. Measuring the quality of VoIP traffic on a WiMAX testbed. En Proc. International Conference on Testbeds and Research Infrastructure for the Development of Networks and Communities 2007, 1-10.
- [10] <http://www.ixiacom.com> Accedida el 08/06/2019

Nuevas referencias:

- [11] <http://www.ist-weird.eu/> Accedida el 08/06/2019
- [12] <http://www.ist-daidalous.org/default.htm> Accedida el 08/06/2019
- [13] [http://www.allot.com/html/products\\_netenforcer.shtm](http://www.allot.com/html/products_netenforcer.shtm) Accedida el 08/06/2019
- [14] <http://www.packeteer.com> Accedida el 08/06/2019
- [15] [http://www.itu.int/rec/dologin\\_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.114-200305-I!!PDF-E&type=items](http://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.114-200305-I!!PDF-E&type=items) Accedida el 08/06/2019
- [16] C. Cicconetti, L. Lenzini, y E. Mingozzi, y C. Eklund, "Quality of service support in IEEE 802.16 networks," IEEE Network, March/April 2006, pp. 50-55
- [17] Kostas Pentikousis, Esa Piri, Jarno Pinola, Frerk Fitzek, Tuomas Nissilä, e Ilkka Harjula. Evaluación empírica de la agregación de VoIP sobre un testbed WiMAX fijo. En Proc. Cuarta Conferencia Internacional sobre bancos de pruebas e infraestructuras de investigación para el desarrollo de redes y comunidades (TRIDENTCOM), Innsbruck, Austria, marzo de 2008
- [18] Ole Grondalen, Pal Gronsund, Tor Breivik y Paal Engelstad. Mediciones y análisis de pruebas de campo WiMAX fijas. En Proc. 16th IST Mobile and Wireless Communications Summit, páginas 1-5, julio de 2007.
- [19] N. Scalabrino, F. De Pellegrini, R. Riggio, A. Maestrini, C. Costa e I. Chlamtac. Medición de la calidad del tráfico VoIP en un testbed WiMAX. En Proc. TRIDENTCOM, mayo de 2007

# CAPÍTULO 5

## TECNOLOGÍA EN EL AULA PARA LA MEJORA DEL RENDIMIENTO ACADÉMICO

## 5 TECNOLOGÍA EN EL AULA PARA LA MEJORA DEL RENDIMIENTO ACADÉMICO

Dentro de los límites de la UE, la revolución tecnológica provocada por la era de la información ha visto dos etapas fundamentales que, hasta cierto punto, se solapan: en la primera, se popularizaron los aparatos en línea rentables en los entornos domésticos, con la participación de toda la familia que participa en los servicios de información y entretenimiento que ofrecen; en la segunda, los dispositivos interactivos que ya funcionaban en entornos profesionales relacionados con el ámbito empresarial, comenzaron a implantarse en todos los niveles del espectro de la enseñanza, desde la educación preescolar hasta el posgrado. La presencia de estos dispositivos en el aula, especialmente los ordenadores y las tarjetas digitales, ha permitido, entre otras cosas, prestar más atención a la diversidad y a la mejora del autoaprendizaje. Además, ha abierto el camino para un cambio de paradigma de enseñanza-aprendizaje, de un modelo autoral, cerrado, a un modelo participativo, abierto.

Hasta ahora, las medidas adoptadas a este respecto en los entornos de enseñanza-aprendizaje han sido difundidas principalmente por las administraciones locales, regionales o nacionales, como los ministerios de educación y similares. Evidentemente, la participación de la administración pública significa mucho más que dotar a los centros educativos de equipamiento tecnológico. También requiere una formación continua del profesorado, así como un mantenimiento, apoyo y reposición tecnológica sostenidos, por no hablar de otras necesidades como la elaboración de materiales y la evaluación de los desajustes pedagógicos. La consecuencia visible de ello es el aumento constante de los presupuestos de educación pública, una condición cada vez más difícil de cumplir en el contexto de la actual crisis económica a la que se enfrentan muchas administraciones. Esta es la razón principal por la que los expertos en tecnología y educación están buscando una nueva fase en el desarrollo tecnológico de enseñanza-aprendizaje, una fase adaptada a las circunstancias reales y a la vez creativa y ambiciosa en su visión.

Desde el punto de vista conceptual, y por las razones expuestas anteriormente, cualquier nuevo enfoque debe cumplir, como mínimo, dos condiciones: a) debe ser de "bajo coste"; y b) debe ser fácilmente accesible para todos. En cuanto a la primera condición, los dispositivos que ya se utilizan en los hogares y que se utilizan en la vida cotidiana (por ejemplo, teléfonos móviles, teléfonos inteligentes, tabletas, etc.) deben incorporarse a las aulas como opciones disponibles. No podemos seguir confiando en un suministro constante de equipos nuevos y costosos. En cuanto a la segunda condición, un equipo interdisciplinario de investigadores, desde expertos en TIC hasta expertos en educación, debe trabajar conjuntamente con un doble objetivo: proporcionar la herramienta de sistema de interfaz más sencilla posible para aprovechar los dispositivos disponibles de los estudiantes basados en tecnologías web (por ejemplo, el estándar HTML5) y evaluar las diferentes modalidades de su uso en el aula.

Por último, teniendo en cuenta el contexto multicultural de la UE, consideramos que es un campo óptimo para probar nuevas herramientas y evaluar su valor pedagógico en ámbitos como las matemáticas, la alfabetización digital, las aptitudes artísticas y creativas, pero también en la enseñanza y el aprendizaje de idiomas, (de forma explícita o implícita con el enfoque CLIL) empezando por el inglés como lengua de comunicación profesional internacional, que ya se enseña en todos los niveles de nuestros sistemas educativos nacionales, así como en muchas otras materias.

## 5 TECNOLOGÍA EN EL AULA PARA LA MEJORA DEL RENDIMIENTO ACADÉMICO

Adicionalmente hay que tener en cuenta preocupaciones prácticas como las siguientes:

- a) No todos los alumnos de Primaria poseen dispositivos digitales personales y....
- b) Es posible que algunos de ellos no estén completamente familiarizados con los entornos digitales. Por el contrario, a partir del Nivel Secundario, se puede suponer una alfabetización digital casi universal.

La propuesta de un marco de enseñanza y aprendizaje de bajo coste asistido por la tecnología dentro de las instituciones de investigación interdisciplinaria europeas funciona de acuerdo con la Agenda Digital para Europa (DAE), es decir, tiene por objeto mejorar las estrategias educativas para la revitalización de las economías europeas desde la fuente misma de su filosofía subyacente:

- 1) Aprovechar el uso de gadgets personales.
- 2) Innovar en las experiencias docentes sin añadir costes adicionales para las administraciones públicas. De este modo, estamos poniendo en práctica un modelo económico que ya no puede basarse en un apoyo externo sostenido, sino que, por el contrario, tiene su origen en la iniciativa personal, privada y en la creatividad.

Por otra parte, la investigación sobre las implementaciones digitales de enseñanza-aprendizaje muestra cómo las acciones de enseñanza asistida por la tecnología en todos los niveles educativos, pero principalmente en la enseñanza secundaria, reducen la exclusión social, reducen el abandono escolar y centran la atención en las dificultades específicas (como en el caso de los estudiantes discapacitados, inmigrantes y de edad avanzada en busca de una segunda oportunidad). La enseñanza digital mejora la empleabilidad futura de los estudiantes, reduce las cifras de fracaso y encaja naturalmente en los modelos de aprendizaje a lo largo de toda la vida, reduciendo así la brecha tradicional entre la educación y el entorno laboral.

Por consiguiente, los desarrollos presentados en este capítulo están en sintonía con las agendas digitales nacionales y europeas.

### 5.1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la mayoría de las iniciativas para introducir metodologías innovadoras en la enseñanza capaces de fomentar el aprendizaje activo de los alumnos han estado basadas en las TIC (Tecnologías de la Información y las Comunicaciones). Sin embargo, la realidad es que, aunque la tecnología está presente en casi todos los aspectos de nuestra vida, parece que su irrupción en el campo de la enseñanza se está tomando su tiempo. Existen multitud de razones que a priori podrían explicar, al menos parcialmente, esta situación de "freno", desde motivos económicos o culturales hasta relacionados con el posible desconocimiento de las posibilidades que ofrecen por parte de los docentes.

Por otro lado, gran parte de las líneas de investigación englobadas en este campo están basadas en la rápida evolución de las tecnologías inalámbricas junto con la aparición de esta nueva generación de dispositivos móviles que estamos viviendo. Todo lo anterior, unido al incremento en la facilidad de conexión con cualquiera de ellos a una red inalámbrica desde casi cualquier lugar conforma un escenario muy propicio para la aparición de nuevos modelos, aplicaciones y metodologías docentes. Además, es una realidad que estos dispositivos móviles en todas sus manifestaciones se están incorporando rápidamente a la rutina diaria de los usuarios, y han comenzado incluso a volverse imprescindibles para mucha gente. Así, en este escenario, el uso extensivo de esos dispositivos móviles y tecnologías inalámbricas en el campo

de la enseñanza representa una importante contribución al desarrollo de nuevas e innovadoras metodologías docentes. Partiendo de esta idea inicial han surgido los famosos conceptos de *e-learning* y *Mobile learning* que, de forma genérica, incluyen todo el trasfondo tecnológico, metodologías, aplicaciones e incluso aspectos pedagógicos de estas modernas prácticas docentes. Sobre esta base, sendos conceptos han ido evolucionando y pasando por diferentes nombres dependiendo del alcance concreto de cada aplicación, pero lo que es común a todos ellos es el afán por mejorar los métodos tradicionales de enseñanza y aprendizaje. Así, el *e-learning* (definido genéricamente como el conjunto de medios y actuaciones para conseguir la integración de las TIC en el proceso de enseñanza para mejorar la calidad de la educación) representa un área de intensa investigación en la actualidad. Prueba de ello son las novedosas iniciativas docentes que se están llevando a cabo constantemente por numerosos grupos de investigación. Los siguientes párrafos describen algunos de estos trabajos, enumerando varias experiencias recientes. En este sentido, serán clasificadas dependiendo de su alcance y principales objetivos, dando a su vez una visión global del estado del arte en esta área de investigación.

### 5.1.1 Estudios Genéricos

Hoy por hoy, el uso de sistemas de *e-learning* no está limitado al campo de la enseñanza en su sentido más puro: se ha extendido a muchas áreas de la ciencia [1] e incluso a entornos educativos totalmente genéricos [2]. Como resultado, algunos autores han acuñado el término aprendizaje afectivo (*Affective e-learning*) para referirse a ello [2].

En los últimos años, es innegable que están surgiendo muchas maneras diferentes de usar el *e-learning* para mejorar el proceso educativo: por ejemplo, a través de la creación de laboratorios virtuales interactivos [3], la implementación de sistemas de voto y respuesta electrónica en clase [4], o el uso de herramientas de *e-learning* para fomentar la competitividad [5], entre otras muchas. En cada caso, las experiencias se centran en la potenciación o adquisición de habilidades muy específicas en los alumnos dependiendo, como es lógico, del alcance de cada actividad. En este sentido, la búsqueda de una metodología y secuenciación de actividades óptimas según los recursos disponibles o los entornos donde se lleven a cabo ha sido objeto de numerosos estudios teóricos [6-7]. Además, muchos de estos estudios han propuesto incluso marcos de trabajo conceptuales que cubren desde el diseño y soporte tecnológico de estos sistemas hasta su implementación y consecuente evaluación de resultados de cara a maximizar los resultados educativos [6, 8-9].

### 5.1.2 Aprendizaje Colaborativo

Un entorno educativo colaborativo puede jugar un rol importante en la construcción del conocimiento y en la compartición, ya que la colaboración entre los alumnos tiene un impacto muy significativo en los logros educativos [10]. El aprendizaje colaborativo es un modelo educativo en el que alumnos con diferentes capacidades, habilidades e intereses trabajan juntos o en pequeños grupos para resolver un problema o llevar a cabo un proyecto [6]. A su vez, este tipo de aprendizaje está estrechamente relacionado con el concepto de aprendizaje colaborativo asistido por ordenador (*Computer Supported Collaborative Learning, CSCL*), que tiene que ver con la adaptación del modelo educativo anterior para su uso en entornos informatizados, con todas las ventajas implícitas que ello conlleva. Algunos ejemplos recientes de implementaciones exitosas de sistemas CSCL se pueden encontrar en [9-11].

### 5.1.3 Aprendizaje Basado En Problemas

Otro modelo educativo que ha atraído una gran atención en los últimos años es el aprendizaje basado en problemas (Problem-based Learning, PBL) porque ha probado ser un modelo pedagógico muy exitoso en muchos campos. El PBL va más allá de la metodología de enseñanza tradicional a través de la promoción de la interacción de los estudiantes. Por ejemplo, el trabajo práctico resulta de vital importancia para todos los cursos de ciencias de la información y consecuencia de ello es que el PBL esté ampliamente consolidado en este campo. Formalmente, el PBL se define como una metodología de enseñanza que se vale de problemas específicos para motivar a los alumnos hacia su resolución y el consecuente aprendizaje derivado del proceso. En este contexto, la importancia reside en el proceso de resolución más que en la explicación por parte del docente, ya que éste último actúa más como facilitador que como fuente de conocimiento [12]. Algunos ejemplos de implantaciones exitosas de PBL en entornos TIC y otros campos de la ciencia se pueden encontrar en [ 12-13] y [ 14-15], respectivamente.

### 5.1.4 Aprendizaje Mixto

El aprendizaje mixto (Blended Learning, BL) se está convirtiendo también en una forma cada vez más popular de e-learning, ya que es particularmente adecuado para llevar a cabo el proceso de transición desde las formas tradicionales de enseñanza y aprendizaje hacia el e-learning [6]. El BL está basado en una combinación de CSCL, PBL y las clásicas clases presenciales (jace to face, j2f) con una parte de aprendizaje independiente, todo ello enfocado a la creación de un entorno más eficiente de cara al aprendizaje. Existe mucha literatura reciente al respecto que evalúa el despliegue e implementación de sistemas de BL con grupos de estudiantes [16-17], mientras que también existen interesantes modelos teóricos y recomendaciones para el diseño e implementación de cursos [6, 7, 10].

### 5.1.5 Aprendizaje Móvil

Finalmente, el aprendizaje móvil (Mobile Learning, mlearning) es quizá la forma de e-learning que más atención y actividad investigadora está atrayendo en la actualidad debido al ingente número de terminales móviles que entran en el mercado cada día. Esta modalidad se basa, de forma genérica, en el uso de dispositivos móviles en el proceso de enseñanza. Como es lógico, se aprovecha de las ventajas y beneficios que se derivan de su naturaleza móvil en términos de, por ejemplo, conectividad ubicua (pudiendo acceder a los recursos educativos desde cualquier ubicación a través de Internet) o flexibilidad horaria (permitiendo a los estudiantes aprender en el momento que lo deseen). Sin embargo, aunque existen varios marcos de trabajo conceptuales para desarrollar actividades de mLearning [18-19], no existe una metodología de acción clara, como se puede leer en [20] que resalta algunos de los cuellos de botella y principales problemas asociados al desarrollo de sistemas de mLearning. Además, varios estudios concretos como [21-22] incluso cuestionan la idoneidad del uso de dispositivos móviles en educación debido principalmente a la falta de estandarización existente y a los problemas de visualización de contenidos en dichos dispositivos, que complican enormemente el desarrollo de sistemas para este tipo de dispositivos. Sin embargo, otros estudios son más optimistas en cuanto a este tema y tratan de aclarar y concretar ciertas asunciones teóricas relacionadas con un hipotético diseño multi-dispositivo, presentando alguno de ellos incluso alguna implementación práctica [23]. En esta línea, algunos ejemplos de experiencias exitosas de mLearning se pueden encontrar en [24] y [25]. En este contexto multi-dispositivo, muchos investigadores han encontrado una línea de acción interesante desarrollando sistemas de mLearning auto-adaptativos (self-adaptative) [26] y sensibles al contexto (context-aware) [27].



## 5.2 LA APLICACIÓN DE PDAS Y SMARTPHONES EN EL AULA

En esta sección estudiamos los sistemas de respuesta y su efectividad como dispositivos de mano en el aula. La evidencia sugiere que los sistemas de respuesta pueden ser usados para aumentar la participación de los estudiantes y fomentar el debate y la atención, especialmente en clases numerosas, en las cuales este aspecto es un reto. Además de ser utilizado para preguntas sobre el aprendizaje también se ha comprobado que los sistemas de respuesta son útiles como medio para debatir el guion de la clase y generar realimentación al profesor sobre los métodos de enseñanza y el ritmo de las clases (Gunn, 2014).

Algunos sistemas comerciales para uso en el aula buscan facilitar una respuesta de la audiencia que permita retroalimentar la información para monitorizar y mejorar el proceso de aprendizaje. Tales tecnologías incluyen: Active Class, Educlick, Turning Technologies, Optivote, etc. Sin embargo, también tienen muchas desventajas. Por ejemplo, la mayoría de las veces se comercializan como grandes sistemas que imponen requisitos de hardware específicos tanto a los servidores como a los clientes. Suelen ser caros. Los sistemas a veces no funcionan en los dispositivos más utilizados por los estudiantes. En otros casos, es posible que los sistemas sólo estén disponibles en inglés. Algunos sistemas de código abierto también están disponibles - Moodle y Chamilo being de particular importancia. Aunque se consideran soluciones muy adecuadas para entornos de aprendizaje mixtos, nunca se implementan en el aula, ya que carecen de las características necesarias para una interacción dinámica y rápida entre estudiantes y profesores.

A continuación, desarrollamos una solución donde se constata como los asistentes digitales personales (PDA) y los teléfonos inteligentes también pueden utilizarse como sistemas de respuesta para involucrar a los estudiantes y mejorar su rendimiento en el aula.

### 5.2.1 Plataforma docente interactiva WIFI

La habilidad de los alumnos en el uso de las nuevas tecnologías puede provocar serios problemas de menor atención hacia los contenidos estudiados en el aula. Sin embargo, desde el punto de vista educativo también se pueden destacar muchas ventajas: alta capacidad para la búsqueda de información técnica, intercambio más rápido de información mediante interfaz de teclado, buenos recursos de comunicación para trabajos en grupo, etc. En este sentido, la calidad de la acción docente se puede mejorar notablemente mediante la aplicación de plataformas educativas basadas en dispositivos electrónicos como PDA y Smartphones. Con el propósito de promover la filosofía de mejora continua en el proceso de enseñanza/aprendizaje, se ha creado una plataforma dedicada a facilitar la comunicación interactiva entre el profesor y los alumnos dentro del aula, como una herramienta educativa útil para proporcionar una retroalimentación sobre el nivel de aprendizaje alcanzado por los alumnos. La nueva tecnología está orientada a asistir al profesor mediante la introducción del Ciclo Shewhart -o también llamado Ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Act)-, evitando pérdidas de tiempo significativas durante la práctica docente.

#### 5.2.1.1 Sistemas similares

De las múltiples iniciativas en el uso de PDA's en el aula realizadas por las universidades, se presentan tres de estas iniciativas, seleccionadas por la similitud con el objeto de este estudio. La primera es la de la Universidad de California San Diego, que ha dedicado un equipo de personal técnicamente cualificado para desarrollar dos herramientas ActiveClass y

ActiveCampus con el fin de mejorar la participación de los estudiantes en el aula y para interconectar a las personas en el campus respectivamente. También se estudian las experiencias más recientes de la Universidad de Tennessee y la Universidad de Minnesota.

ActiveClass [1] es una aplicación cliente-servidor en la que los estudiantes hacen preguntas de forma anónima. De esta manera el profesor tiene una retroalimentación sobre el nivel de asimilación de los contenidos de la clase, ya que se rompe la barrera entre el profesor y la resistencia de los alumnos a hablar en voz alta en clase. Las preguntas de los estudiantes en una clase tradicional son cada vez más escasas, y muchas veces el contenido de las preguntas carece de oportunidad. ActiveClass está concebido para clases masivas. La Fig. 1 representa una pantalla de esta aplicación web.

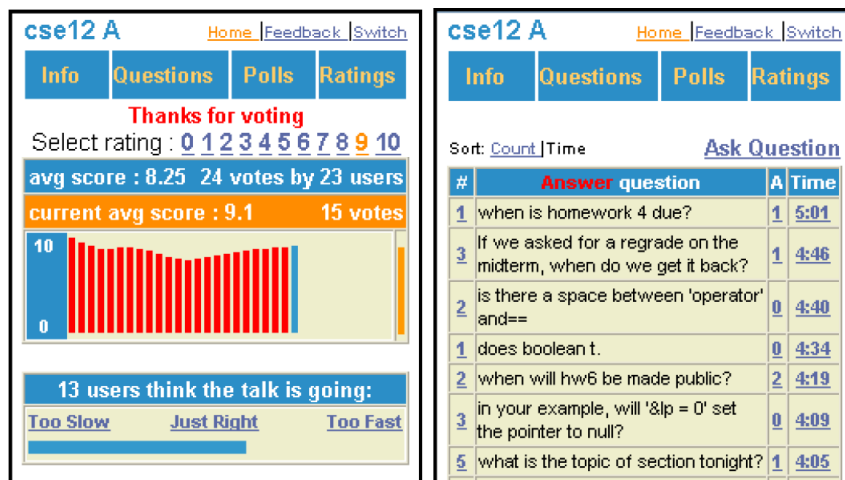


Fig. 1. Dos ejemplos de pantallas en la aplicación ActiveClass

El éxito del método queda demostrado por la permanencia del programa y su expansión a otras universidades.

La Universidad de Tennessee proporciona estudios estadísticos para las aplicaciones de los programas ActiveClass. En una de sus conclusiones la gran mayoría de sus alumnos reconocen la mejora de la experiencia educativa como se muestra en la Fig. 2.

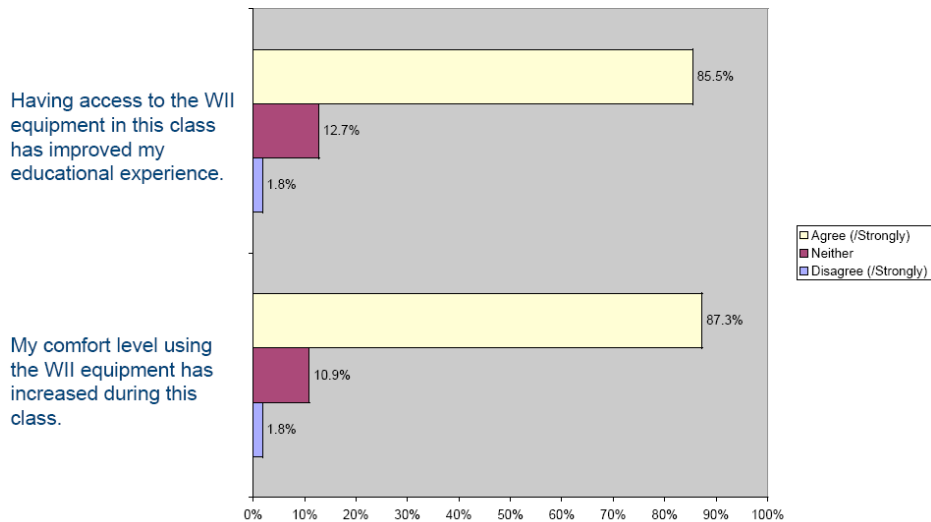


Fig. 2. Valoraciones del programa PDA por estudiantes de la Universidad de Tennessee

La Universidad de Minnesota Duluth (UMD) incluyó en el costo de inscripción el precio de una PDA que se distribuyó en la mitad de las clases con el fin de aplicar diferentes métodos en la formación de los sujetos tecnológicos. La figura 3 muestra la apreciación de los alumnos sobre la utilidad de esta herramienta en comparación con otros medios como las conferencias y los libros de texto.

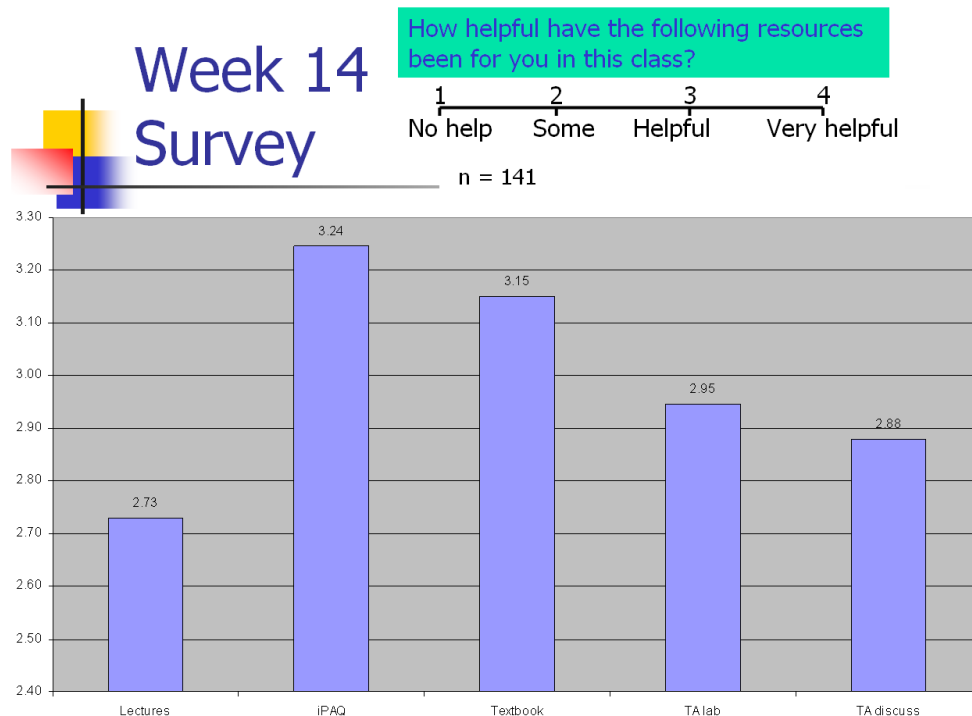


Fig. 3. Valoración de los estudiantes sobre la utilidad de las diferentes herramientas educativas

### 5.2.1.2 Principios pedagógicos

Antes de aplicar las nuevas tecnologías en el aula debemos tener en cuenta los siguientes principios pedagógicos [4], la mayoría de ellos son principios del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES).

- **Modelo de Contenido:** El proceso de aprendizaje consiste en adquirir contenidos y habilidades.
- **Haciendo conocimiento:** El aprendizaje es un proceso de construir conocimiento en lugar de absorberlo.
- **Las preguntas son fundamentales:** Muchos autores revelan que sólo cuando los estudiantes son capaces de hacer auto-preguntas, entonces su conocimiento sobre la respuesta hace que un conocimiento realmente adquirido.
- **Interactividad:** Los estudiantes pertenecen a una generación conectada e interactiva cuyos medios tecnológicos deben ser utilizados en la educación.
- **Medio ambiente:** El aprendizaje depende del lugar donde se lleve a cabo.
- **Formal e informal:** El aprendizaje ocurre en cualquier momento y en cualquier lugar.
- **No es sólo tecnología:** La tecnología debe basarse en una buena pedagogía.

Estos principios pedagógicos se han aplicado desde la Segunda Guerra Mundial, cuando un grupo de trabajo desarrolló el llamado "Método de Instrucción Laboral", ampliamente aplicado posteriormente en la industria automovilística, y es la base del éxito actual del Sistema de Producción Toyota [5].

El conocimiento profundo adquirido sobre algunos contenidos es básico para valorar el método pedagógico. Esto depende principalmente del profesor [6], pero también las tecnologías pueden ayudar ya que permiten probar los conceptos adquiridos hasta que se consolidan.

El uso masivo de dispositivos digitales como MP3, iPod's, PSP's, etc. hace que las nuevas generaciones de estudiantes sean un grupo de personas distraídas con baja capacidad de concentración. Esto, lejos de ser una desventaja, podría ser una ventaja ya que estos estudiantes tienen una alta capacidad para buscar información, interactuar con teclados y nuevos dispositivos en el mercado, y están muy bien interconectados para que puedan trabajar mejor en grupo. Por otro lado, cuando las clases son todas conferencias; no hay discusión o participación de los estudiantes, son insostenibles para la mayoría de ellos que deciden no venir especialmente en fechas cercanas a los exámenes.

Además, la mayoría de ellos asumen que no harán preguntas en voz alta debido a los problemas para hablar en público de esta era digital [1], aunque hacer preguntas es fundamental para adquirir conocimientos y consolidarse dentro de los modelos mentales de los estudios técnicos. Las correcciones de modelos erróneos sólo pueden ser efectivas si el estudiante descubre la solución a sus múltiples preguntas a través del nuevo modelo correcto implementado por el profesor.

La incorporación de las nuevas tecnologías en el aula que proponemos en este trabajo, tiene en cuenta todas estas dificultades. Hemos desarrollado una plataforma donde a través de los dispositivos WiFi el alumno puede comunicarse con el profesor de forma anónima, para luego estimular y consolidar el conocimiento del tema simplemente haciendo y respondiendo preguntas.

### 5.2.1.3 Especificación y desarrollo de la plataforma

La plataforma desarrollada se basa en la implementación de cuatro componentes principales, como los siguientes:

1. Sistema operativo Linux "Ubuntu".
2. Servidor "Apache".
3. Base de datos "Mysql".
4. Portal de datos interactivo "E107".

Todos estos componentes son software libre y de código abierto, por lo que los autores pudieron emplearlos y modificarlos sin costes adicionales. El E107 es el elemento más importante de esta plataforma educativa, ya que permite la comunicación con el resto de componentes físicos para gestionar la información procedente y/o dirigida al profesor y a los alumnos, incluyendo las diferencias existentes entre las interfaces gráficas de usuario específicas que corresponden a ambos.

El acceso al sitio principal de esta plataforma sólo necesita un navegador Web, que suele estar disponible en dispositivos electrónicos WiFi. Por lo tanto, desde el perfil del profesor es posible gestionar todo el sistema. La Fig. 4 ilustra la ventana que se muestra en el sitio principal cuando el profesor accede a ella, mientras que en el caso de la conexión con el estudiante aparecerá una ventana más sencilla. En el menú principal se consideran dos bloques diferenciados, que son un control central para la gestión (Fig. 5) y dos ventanas laterales para información complementaria (Fig. 6). La ventana que se muestra a la izquierda proporciona información general sobre el sistema y los recursos, mientras que la ventana opuesta está reservada para los estudiantes, como comentarios insertados, preguntas enviadas, archivos transferidos, etc.

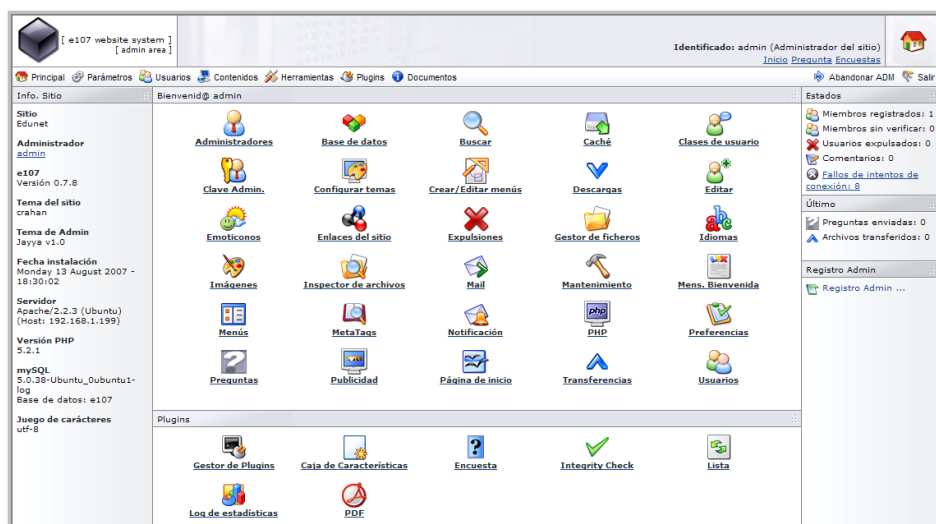


Fig. 4. Vista general de la plataforma WiFi generada desde la interfaz del profesor (en el ordenador portátil del profesor).

## 5 TECNOLOGÍA EN EL AULA PARA LA MEJORA DEL RENDIMIENTO ACADÉMICO

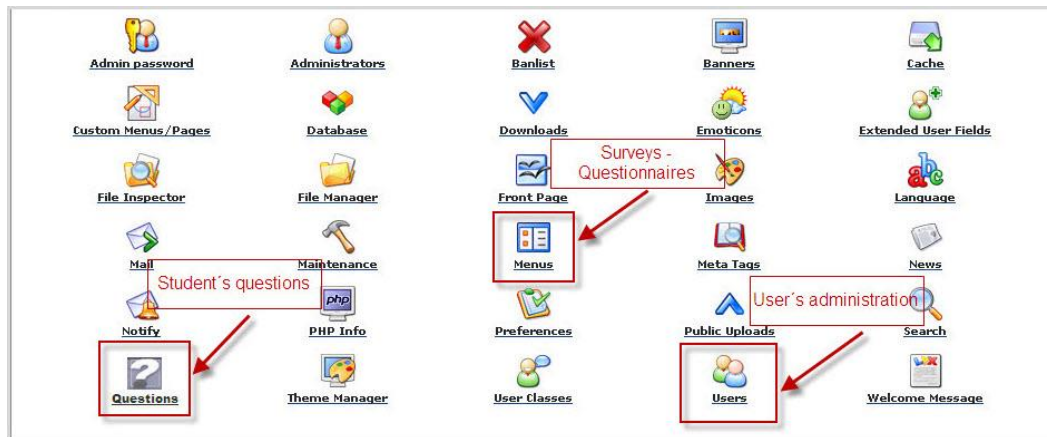


Fig. 5. Control principal en la interfaz del profesor de la plataforma WiFi generada

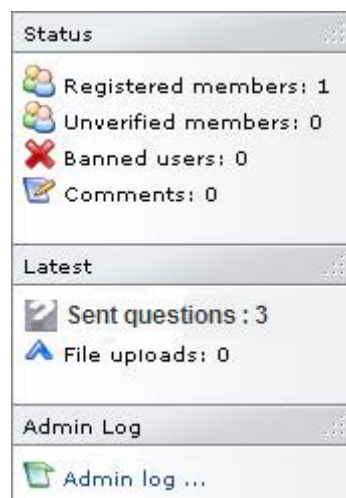


Fig. 6. Ventana derecha en la interfaz del profesor de la plataforma WiFi generada (con información de ejemplo).

El control central incluye las opciones de gestión a las que puede acceder el profesor:

1. Gestión de las preguntas de los alumnos (para ser leídas por PDAs y otros dispositivos WiFi).
2. Gestión de preguntas de encuestas, resultados finales y conclusiones.
3. Gestión de los usuarios que acceden al sistema.

Como se mencionó anteriormente, en el caso de la interfaz de estudiante se encuentran ventanas similares, aunque restringidas a las herramientas disponibles para los estudiantes y optimizadas para las pantallas pequeñas de PDAs y otros dispositivos WiFi. La interfaz del estudiante contiene los tres menús principales siguientes:

1. Inicio: En el que las preguntas de las estudiantes publicadas por el profesor pueden ser consultadas por el resto de los estudiantes.
2. Preguntas: Dedicado a escribir las preguntas dirigidas al conferenciante.

3. Encuestas: Donde los alumnos pueden leer y responder a encuestas previamente formuladas por el profesor sobre los contenidos del curso.

En esta ventana principal, el estudiante tiene la oportunidad de calificar otras preguntas de 1 a 10 puntos. Se muestra el resultado medio.

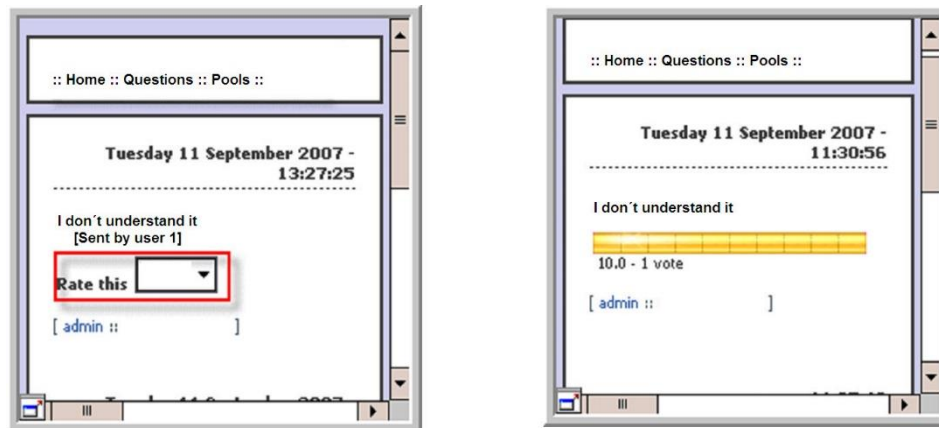


Fig. 7. Interfaz de estudiante para preguntas formuladas (antes y después de su calificación).

Finalmente, en el menú de encuestas el alumno puede leer y responder a las encuestas insertadas por el profesor, así como acceder a los resultados de encuestas anteriores si el profesor lo permite

### 5.2.2 Resultados

El curso de "Ingeniería de Calidad" forma parte de los contenidos optativos del programa académico de "Ingeniero Industrial" que se imparte en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial (ETSII) de la Universidad Politécnica de Cartagena. En este curso técnico se explican los fundamentos de los métodos estadísticos para aplicaciones de ingeniería, las técnicas basadas en el control gráfico y las reglas de Diseño de Experimentos, así como algunos de los principios o metodologías más importantes que se pueden aplicar para la mejora continua, incluyendo el Ciclo Shewhart, Seis Sigma, Kaizen, 5S, TPM, Poka-yoke, FMEA, etc.

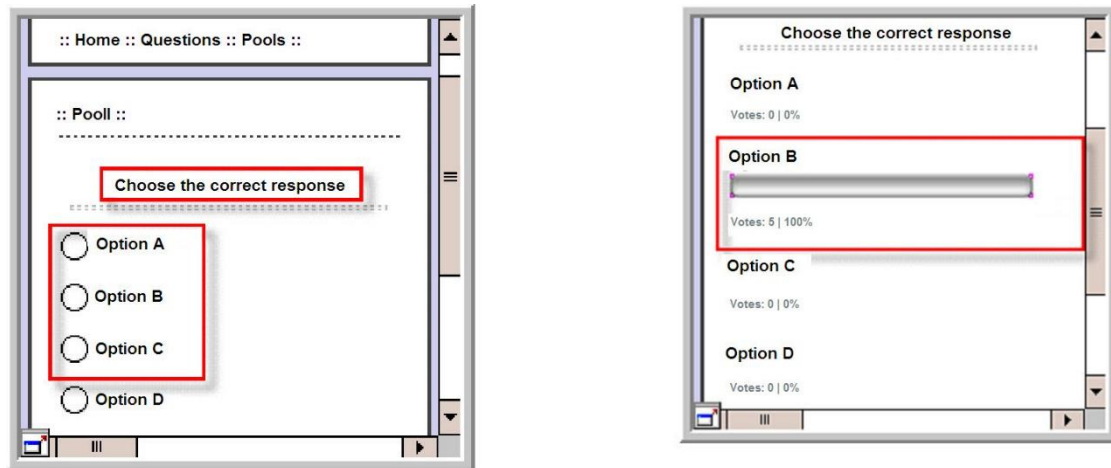


Fig. 8. Interfaz de estudiante para encuestas formuladas (antes y después de su respuesta).

El empleo de la tecnología educativa descrita en este trabajo, ha demostrado ser un recurso muy útil para explicar los conceptos relacionados con la mejora continua dentro de las actividades de las empresas de producción y otras organizaciones, que de hecho también se aplica en este caso por el profesor para ayudar a la mejora del proceso de enseñanza/aprendizaje. La introducción a la tecnología propuesta permite la asimilación de la historia del control de calidad de una manera práctica, incluyendo la importancia alcanzada por el Control Estadístico de Procesos dentro de la industria moderna, lo que contribuye a la promoción de las competencias profesionales que deben ser desarrolladas por el estudiante. Entre las conclusiones básicas que se pueden deducir de este curso, se destaca la necesidad de una sólida formación para la optimización continua de los recursos de la empresa y la mejora de la calidad de los productos y servicios ofrecidos.

En cuanto a los vínculos entre los contenidos teóricos de este curso y la metodología educativa que se ha propuesto, la base de la lección centrada en los 5-Whys se emplea para explicar la importancia que se atribuye a la formulación de preguntas durante el proceso de aprendizaje, la explicación de los diagramas de Ishikawa Fish sirve para entender las causas reales que pueden estar presentes en la mala asimilación de los contenidos, etc. La plataforma desarrollada basada en el uso de dispositivos electrónicos con tecnología WiFi, permite la aplicación de estas técnicas industriales a la práctica educativa en la enseñanza universitaria.

En este proyecto piloto, un mínimo de 4 PDAs estaban disponibles para los estudiantes. Dentro de una sesión regular con 25 estudiantes, un promedio de 10 estudiantes con Smartphones, PSPs o iPods también fueron encontrados, lo que se añade a los PDAs facilitados por el profesor. Como consecuencia, en cada una de las sesiones del curso se puede considerar a la mitad de los estudiantes con acceso a esta tecnología.

Cada uno de los profesores participantes adquirió su propia experiencia en la aplicación de esta tecnología educativa. Por lo general, antes de cada sesión preparaban encuestas adecuadas sobre el contenido del curso. Adicionalmente, se insertaron preguntas orientadas a posibilitar que los alumnos piensen en corolarios para los teoremas explicados, permitiendo la asimilación de estas enseñanzas y la habilidad en el uso de estos conceptos técnicos.

A través de la tecnología descrita en este trabajo, se ha estimulado el interés de los alumnos por este curso, se han encontrado más atractivos sus objetivos esenciales y se ha incrementado notablemente la atención dentro del aula. La efectividad de esta metodología educativa quedó



definitivamente demostrada por el menor nivel de ausentismo durante el semestre, el mayor porcentaje de alumnos matriculados que se presentaron al examen final, el incremento de alumnos que aprobaron el curso hasta casi la totalidad de los alumnos examinados y el reconocimiento oficial dentro de la Universidad Politécnica de Cartagena a los profesores que utilizan esta técnica.

### 5.2.3 Conclusiones

La plataforma educativa generada para la conexión de PDAs y otros dispositivos WiFi, se concibe como una herramienta orientada a incrementar la calidad del proceso de aprendizaje, como consecuencia de la disponibilidad de una utilidad interactiva basada en web que permite la consecución de una mejora continua en la práctica docente. El cambio favorecido por la metodología propuesta en el contexto de la docencia universitaria es similar a los avances originados en la actividad industrial cuando el control de calidad de la inspección por muestreo fue superado por el control estadístico de procesos a mediados de los años cincuenta.

El Ciclo Shewhart -o también llamado Ciclo PDCA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar)- popularizado por W.E. Deming [7], supuso una revolución para el concepto de control de calidad en la industria. Las evaluaciones basadas en el análisis estadístico de muestras del lote de productos finales, son ineficientes para mejorar la calidad del proceso donde se fabrica el producto y donde se originan los defectos existentes. Por el contrario, Deming propuso traducir el control de calidad a los pasos críticos del proceso de fabricación, desarrollando la filosofía del control estadístico de procesos. De esta manera, los datos estadísticos proporcionan información sobre las correcciones que podrían ser necesarias en los parámetros de proceso, con el fin de aumentar la proporción de productos aceptados, o incluso mejorar las características de las piezas finales. Mediante esta técnica se establece la capacidad de proceso antes de la fabricación de cada lote de productos, y se controlan los parámetros de trabajo mediante gráficos dirigidos a detectar tendencias no aleatorias en la calidad de las piezas producidas, evitando el incremento en la cantidad de productos erróneos a descartar.

De acuerdo con los principios del Ciclo PDCA, para promover la mejora continua en la práctica educativa, toda idea o solución a adoptar en relación con el proceso de enseñanza-aprendizaje en primer lugar "Planificado", en una segunda etapa las medidas concebidas son "Hecho", últimamente el resultado obtenido es "Comprobado" y, tras el análisis de soluciones anteriores, la actividad docente se ve potenciada por "Acciones" adicionales.

Se puede establecer un claro paralelismo entre la evaluación por muestreo de lotes de productos finales y el examen de los estudiantes al final del semestre. Adicionalmente, se puede asumir un vínculo de evidencia entre la evolución tecnológica que está teniendo lugar en la industria moderna y la innovación educativa promovida por las metodologías descritas en el presente estudio. La metodología propuesta puede ser útil para conocer la efectividad del proceso de enseñanza-aprendizaje. Las herramientas contenidas en esta tecnología son adecuadas para una evaluación más detallada de los conceptos asimilados en las sucesivas sesiones de enseñanza, lo que puede ser realmente útil como una práctica educativa complementaria al examen final.

La eficacia de los métodos puede ser evaluada comprobando los conceptos asimilados y las competencias adquiridas por los estudiantes. La competencia no puede medirse por la superación de un examen en el que el alumno sólo necesita conocer la mitad de la materia.

## 5 TECNOLOGÍA EN EL AULA PARA LA MEJORA DEL RENDIMIENTO ACADÉMICO

Después de planificada y realizada una iniciativa educativa, la fase "Check" se realiza realmente una vez al final del semestre, y no existen instrumentos para evaluar la responsabilidad de la incompetencia del profesor o la pereza de los alumnos cuando la mayoría no supera el examen. Por lo tanto, no hay suficiente información para pasar a la fase "Act", excepto una encuesta a un pequeño porcentaje de estudiantes inscritos. La evaluación continua es entonces necesaria para evaluar las acciones tanto del profesor como de los alumnos.

La tecnología WiFi puede ayudar mucho en la transformación requerida en los métodos educativos. Aquí se propone una propuesta de su aplicación a la eficiencia del aula.

Aplicando el Ciclo PDCA (Plano-Do-Check-Act), el profesor establece unos objetivos educativos, por ejemplo, la asimilación de los alumnos de un concepto complejo. A continuación, se elabora un "Plan" o estrategia para que los alumnos lo asimilen a partir de otros conceptos más sencillos. Después de la ejecución de este plan, que es el paso "Hacer", la tecnología puede ayudarnos a "Comprobar" instantáneamente la asimilación del concepto por parte de cada alumno, permitiendo al profesor seguir el desarrollo de explicaciones más complejas sin perder la atención de los alumnos. De acuerdo con el porcentaje de alumnos que siguen las explicaciones, el profesor puede corregir la acción ("Actuar") para ganar efectividad en el método.

Por lo tanto, la plataforma desarrollada permite una retroalimentación necesaria para aplicar métodos de mejora continua en el proceso de aprendizaje. Es importante considerar la resistencia al discurso público de los jóvenes y la eficiencia obtenida por la constante atención de los estudiantes.

### 5.3 PLATAFORMA MOTIVA

MOTIVA. Developing digital Entrepreneurship contents for secondary schools es un proyecto que se enfrentó a varios retos relacionados con la aplicación y evaluación de las competencias transversales, en concreto, sobre el sentido de la iniciativa y espíritu de empresa y las competencias digitales. Así como un uso eficiente de metodologías basadas en las TIC para promover la participación e interacción de los estudiantes en la educación secundaria.

Casi la mitad de la población de la unión europea y el 37% de su fuerza de trabajo tiene habilidades digitales insuficientes. La transformación digital está cambiando el mercado laboral y la naturaleza del trabajo. Sin la habilidad digital apropiada, es más complicado encontrar trabajo.

El **emprendimiento** hace referencia a la actitud y aptitud para llevar a cabo un proyecto a través de ideas y oportunidades resolviendo problemas. Fortalecer el carácter del alumno en edades tempranas en esta línea le permitirá desarrollar plenamente su talento y proporcionarle la confianza y resistencia para lograr sus metas.

#### 5.3.1 Introducción

A nivel de la UE, se ha definido un conjunto de ocho competencias clave para el aprendizaje permanente. Entre otras cosas, las competencias digitales y el sentido de la iniciativa y el espíritu empresarial son especialmente importantes para el empleo, la realización personal, la inclusión social y la ciudadanía activa [28]. Aunque la mayoría de los Estados miembros han adoptado estrategias nacionales para desarrollar las competencias clave, se necesita más apoyo para el desarrollo de competencias transversales como las TIC y el espíritu empresarial. Existen diferentes maneras de integrar estas competencias en el plan de estudios en toda Europa. Entre

ellos, la mayoría de los países de la UE siguen el enfoque transversal. Sin embargo, esta estrategia tiene varios retos a los que hay que hacer frente. En primer lugar, existe un bajo nivel de integración de las competencias digitales en matemáticas, ciencias e idiomas. En segundo lugar, los profesores deben mejorar sus competencias en materia de TIC y espíritu empresarial, y se requiere una colaboración que trascienda las fronteras de las asignaturas. Este cambio es difícil de lograr, ya que muchos países tienen una organización y especialización basadas en asignaturas, como es el caso de la mayoría de los sistemas de educación secundaria [29].

Según Sousa [30], el espíritu emprendedor puede considerarse actualmente como parte de una estrategia para impulsar la economía. Puede ser emprendida como una tarea desafiante, ya sea internamente dentro de las organizaciones, ya sea externamente, mediante la creación de nuevos negocios que sean sostenibles en un mercado y en un entorno económico complejo. El papel de la iniciativa empresarial para el desarrollo y el bienestar de la sociedad también ha sido reconocido por los investigadores académicos y los responsables políticos [31].

Además, el pensamiento emprendedor está relacionado con la competencia para resolver problemas, que se define como la capacidad de un individuo de participar en un proceso cognitivo para comprender y resolver situaciones problemáticas en las que un método de solución no es inmediatamente obvio. Incluye la voluntad de comprometerse con tales situaciones para alcanzar el potencial de uno como ciudadano constructivo y reflexivo [32]. El compromiso o, en otras palabras, la motivación es fundamental para utilizar las habilidades y los conocimientos para resolver problemas [33].

De acuerdo con esta situación, MOTIVA pretende alcanzar los siguientes objetivos:

**Primero:** fomentar el desarrollo transversal de las competencias transversales a través de enfoques de aprendizaje innovadores. Se fomentará el espíritu emprendedor y las competencias digitales en los centros de enseñanza secundaria, mediante la adaptación y creación de contenidos digitales para su implantación en diferentes asignaturas. Estos contenidos serán recopilados y creados conjuntamente por profesores y desarrolladores y luego implementados en una plataforma de e-learning ya existente desarrollada por la UPCT que fomenta la colaboración en el aula, de forma que la competencia digital será transversal independientemente del tema en el que se utilicen los contenidos. La inclusión de contenidos empresariales se basará en una investigación en la que participarán los grupos destinatarios para proporcionar a los profesores pedagogías y herramientas didácticas basadas en una investigación de calidad, siguiendo las recomendaciones de la CE [34].

**Segundo:** Mejorar la motivación de los estudiantes. El uso de metodologías basadas en las TIC mejora la motivación y el rendimiento de los estudiantes. Los estudiantes son receptivos a la incorporación de las TIC en su aprendizaje [35], pero esto podría ser un arma de doble filo, ya que, dentro de unos años, cuando estas tecnologías ya no son nuevas, podrían dejar de ser útiles para la enseñanza. Así, el concepto clave de MOTIVA es que la introducción de las TIC en el aula va mucho más allá de colocar a los alumnos frente a una pantalla, para ver una actividad o animación interactiva. Tenemos que ser ambiciosos y buscar una nueva forma globalizada de enfocar la enseñanza. Para ello, la metodología de aprendizaje se basará en una plataforma de aprendizaje en línea que ya ha sido probada con éxito en la educación superior y que se adaptará a la educación secundaria.

**Tercero:** Fomento de las competencias de los profesores en materia de TIC y espíritu empresarial. En primer lugar, las actividades de formación y los resultados considerarán cómo interactuar y desarrollar objetivos comunes en términos de habilidades transversales a través

## 5 TECNOLOGÍA EN EL AULA PARA LA MEJORA DEL RENDIMIENTO ACADÉMICO

de diferentes temas. En segundo lugar, se investigarán y probarán herramientas de evaluación para fomentar un marco de evaluación común que pueda utilizarse y adaptarse en diferentes países para evaluar el sentido de la iniciativa y el espíritu empresarial y la competencia digital. En tercer lugar, se creará una plataforma en línea para compartir experiencias y mejores prácticas.

**Cuarto:** Mejorar la eficiencia de la aplicación de las TIC y el acceso a los TEA. Para lograrlo, hay que tener en cuenta los aspectos económicos y técnicos. El sistema de e-learning funciona sin necesidad de invertir en dispositivos de hardware adicionales. Los teléfonos inteligentes, tabletas y otros dispositivos electrónicos deben ser incorporados como opciones disponibles para su despliegue. Debido a las actuales restricciones financieras, pero también para hacer que la tecnología basada en las TIC sea más transferible y replicable, no es realista un suministro constante de equipos nuevos y costosos. Asimismo, los contenidos estarán disponibles en Internet para su uso abierto y gratuito.

**Quinto:** Promover el uso del Aprendizaje Integrado de Contenidos e Idiomas (AICLE). Los contenidos a entregar y la e-plataforma estarán disponibles y se probarán en inglés para fomentar el aprendizaje de una lengua extranjera al mismo tiempo que se mejoran las habilidades empresariales y digitales.

### 5.3.1 Metodología

#### *5.3.1.1 Investigación sobre las necesidades de los profesores*

La primera tarea para el desarrollo de la plataforma MOTIVA fue realizar un estudio de recogida de información a través de herramientas cuantitativas y cualitativas para mejorar el conocimiento de cómo los profesores están desarrollando las competencias digitales y empresariales como competencias transversales y cuáles son sus necesidades en cuanto a la elaboración de contenidos, el desarrollo de metodologías basadas en las TIC, la implementación de contenidos transversales y la evaluación del rendimiento de los estudiantes.

Las preguntas de la investigación fueron:

1. ¿Cuáles son las cinco habilidades empresariales y de TIC que los profesores sugieren que más necesitan?
2. ¿Qué características de la plataforma interactiva son las más importantes según los profesores?

Respecto a la pregunta 1, de acuerdo con el Marco Europeo de Competencias Empresariales, en una selección preliminar, los socios eligieron ocho de las quince competencias y subcapacidades dadas e incluso añadieron una que se dirigía en particular a los dispositivos móviles digitales. Se pensó en una serie de preguntas para interrogar a los profesores. Cada uno fue abordado de la misma manera. Hubo una pregunta sobre lo importante que les parecía el tema, una sobre lo que ya habían hecho en el aula en relación con este tema y otra sobre cuáles eran sus intenciones en cuanto a la posible implementación del tema.

Además, se pidió a los profesores que dieran su opinión sobre el tipo de apoyo que preferirían. Ofrecemos las siguientes seis opciones de apoyo: ejemplos de planes de lecciones, ejemplos de

mejores prácticas (de una variedad de cursos), cómo incorporar el uso de una plataforma interactiva en mi enseñanza y aprendizaje, cómo colaborar con un grupo multidisciplinario de colegas, cómo aprender cómo se pueden utilizar los dispositivos móviles para enseñar y aprender y cómo saber cómo evaluar el aprendizaje de mis estudiantes sobre este tema.

Respecto a la pregunta 2, a los profesores se les dieron veintiséis características para una plataforma interactiva. Se les pidió que indicaran si estas características eran "Necesidad de tener", "importante", "puede ser útil", "bueno, tal vez.", "nada importante en absoluto" y "ninguna idea, ninguna opinión, no aplicable".

Las características se tradujeron a cuatro idiomas (holandés, griego, italiano y español) y se convirtieron en un formulario de Google. Este formulario estaba integrado en el entorno interactivo de MOTIVA y el enlace se envió a los profesores de Bélgica, Grecia, Italia y España.

Los resultados se descargaron como una hoja de cálculo de Google. Cuatro participantes no fueron tenidos en cuenta, ya que sólo rellenaron sus nombres y correos electrónicos y no dieron más respuestas. La hoja de cálculo se importó en SPSS para su posterior análisis. También se utilizaron algunos datos del formulario de resultados de Google y se realizó un análisis adicional de Excel.

No se tuvieron en cuenta todas las respuestas extrañas (principalmente en blanco, es decir, preguntas que se omitieron).

	N	N (female)	N (male)	Teaching learners of ages 12- 13	Teaching learners of ages 14- 15	Teaching learner of ages 16-18	Discipline mentioned with highest frequency	Discipline mentioned with one but highest frequency
Belgium	108	72	36	33	65	65	sciences	mathematics
Greece	55	37	18	41	40	40	language	sciences
Italy	48	37	11	48	16	5	language	mathematics
Spain	61	30	31	38	41	45	language	sciences
Total	272	176	96	160	162	155		

Figura 1: Información resumida sobre los participantes en las preguntas de investigación.

Las asignaturas enseñadas por los encuestados (matemáticas, ciencias, lengua) ofrecen una buena visión general de los planes de estudios de los estudiantes. Las ciencias están sobrerrepresentadas en Bélgica, pero esto se debe principalmente a la distribución del cuestionario entre los profesores. El número de años de experiencia docente de los encuestados estaba bien distribuido en la mayoría de los países. Sólo Grecia tiene un número importante de profesores con una práctica educativa muy limitada.

El estudio "EntreComp: El Marco de Competencia del Espíritu Empresarial", muestra quince competencias empresariales básicas. Se dividieron en varias subcompetencias y se hizo una selección en dos etapas, ya que no todas ellas pudieron ser tenidas en cuenta en este proyecto.

Una breve encuesta entre los socios de MOTIVA puso de relieve ocho competencias empresariales que estaban más en consonancia con los objetivos del proyecto. Estas ocho competencias y el conocimiento de las TIC "El uso de teléfonos inteligentes, ordenadores

## 5 TECNOLOGÍA EN EL AULA PARA LA MEJORA DEL RENDIMIENTO ACADÉMICO

portátiles o tabletas para mejorar el aprendizaje" constituyen los nueve temas objeto de la opinión de los profesores. Todas las habilidades se dividen en dos grupos: siete habilidades obtienen una puntuación superior al 90%, mientras que las otras dos obtienen una puntuación inferior al 81%, pero aun así obtienen una puntuación superior al 74%.

Según los profesores encuestados, las competencias seleccionadas por los socios de MOTIVA son casi igualmente necesarias. Estas habilidades fueron las siguientes: (1) cómo mejorar la motivación y la perseverancia, (2) cómo aprender a través de la experiencia, (3) cómo trabajar en equipo, (4) cómo hacer una planificación para una tarea extendida dada, (5) cómo mejorar su creatividad, (6) cómo evaluarse a sí mismos (autoevaluación) o a sus pares, (7) cómo hacer frente a la incertidumbre, la ambigüedad y el riesgo, (8) cómo asumir el liderazgo cuando se trabaja en grupos.

Lo que los profesores perciben como importante ("Lo que piensas..."), lo que hacen ("Lo que haces...") y lo que pretenden hacer ("Cuántas horas de clase estás dispuesto a pasar...") fueron los criterios para establecer una lista de habilidades preferidas. Estas habilidades fueron elaboradas durante el proyecto MOTIVA.

Esto significa que las tres preguntas relativas a las necesidades de los profesores tienen en cuenta la importancia de las habilidades como tales, pero también la importancia que se le dio a estas mismas habilidades en el pasado, así como la importancia que se les debería dar en el futuro por parte de esos profesores.

Las siguientes habilidades son las más valoradas por los profesores y parece que durante sus clases, preferiblemente quieren enseñar a sus alumnos.

... cómo trabajar en equipo;

... cómo aumentar la motivación y la perseverancia;

... cómo aprender a través de la experiencia;

... para mejorar la creatividad; y como una habilidad extra opcional

... cómo hacer una planificación para una tarea extendida dada

### 5.3.1.2 Desarrollo de la plataforma de MOTIVA

La plataforma MOTIVA ha sido desarrollada mejorando la Sakai para implementar la arquitectura global esquematizada en la figura 2.

Las principales razones por las que se decidió crear una nueva plataforma son las siguientes:

- La mayoría de las plataformas comunes están basadas en código web. Cambiar algo es bastante complicado. Sakai está basado en Java. Java es más adecuado para programar nuevas aplicaciones o plugins para ampliar la funcionalidad.
- La plataforma Motiva puede ser considerada como una plataforma dedicada a crear tu propio entorno de aprendizaje personalizable de acuerdo a las necesidades que puedas tener en cada momento.

La versión final de la plataforma está disponible en la siguiente dirección: <http://platform.motiva-project.eu>

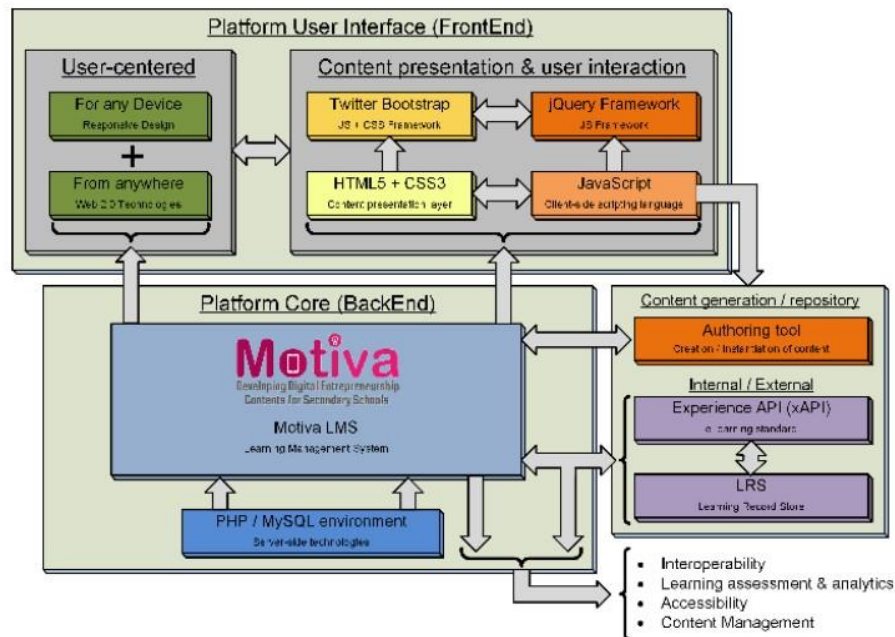


Figura 2. Arquitectura implementada para la plataforma de MOTIVA.

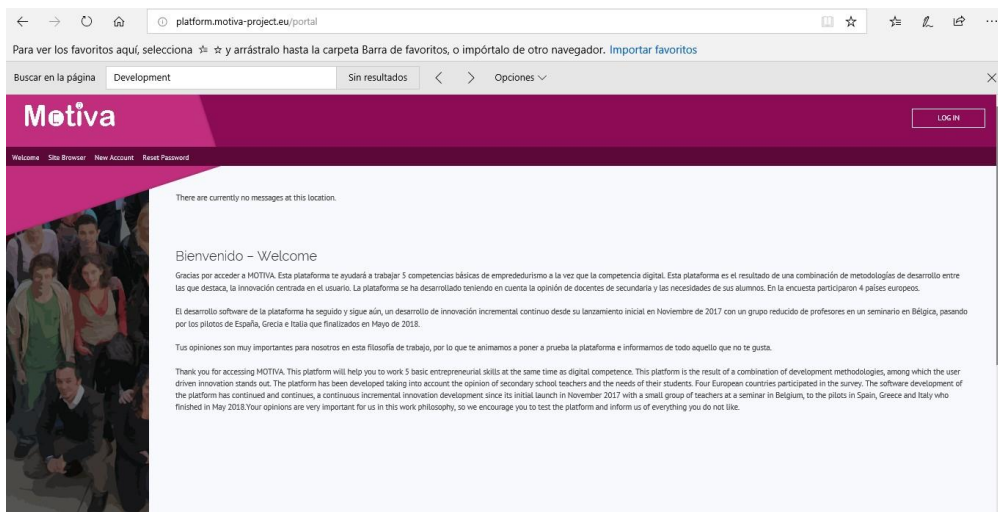


Figura 3. Sitio web de MOTIVA.

Cuando se registra un usuario como profesor, MOTIVA ofrece 27 herramientas diferentes para desarrollar su enseñanza y trabajar las competencias de emprendimiento: Descripción general, Anuncios, Asignaciones, Calendario, Sala de chat, Tablero, Buzón, Correo electrónico, Foros, Libro de notas, Lecciones, Mensajes, Noticias, Podcasts, Encuestas, PostEm, Lista, Estadísticas, Pruebas y pruebas, Contenido web o herramienta Wiki.

Las principales características de la plataforma son las siguientes:

- Amigable y fácil de usar

## 5 TECNOLOGÍA EN EL AULA PARA LA MEJORA DEL RENDIMIENTO ACADÉMICO

- Diseño sensible, diseño adaptable a todos los dispositivos móviles
- Comunidades colaborativas también con otros profesores/estudiantes/escuelas.
- Flexibilidad para que los profesores decidan las diferentes herramientas o tareas.
- Flexibilidad para las escuelas y vinculación con la propia plataforma escolar
- Accesibilidad (texto a voz...).
- Conectado a la nube
- Rutas de diseño: tener la posibilidad de acceder a otros niveles una vez finalizadas las tareas anteriores. (Línea de progreso de estudio)
- Multilinguaje
- Examen previo para estudiantes: a un nivel concreto de conocimiento; o actitud; o estilo de aprendizaje; etc. (herramienta moodle de la lección)
- Tener la posibilidad de que los estudiantes creen su propio camino eligiendo niveles o temas.
- Sección de preguntas frecuentes
- Para tener la posibilidad de compartir las tareas y trabajos que ha recibido de sus estudiantes (carpetas)
- El profesor puede dar un código al alumno matriculado en el curso. (dando acceso a todo el curso)
- Tener la posibilidad de mostrar una primera página con noticias (contenido que puedes cambiar cada semana o cuando quieras). (Automáticamente si es posible). Aliméntese. (Nuevos contenidos subidos/recursos disponibles/contenidos aleatorios de la plataforma).
- Limitaciones privadas. (Roles y permisos).
- Diseño orientado a objetos (fácil de usar con el ratón, trackpad, copiar-pegar,)

### 5.3.2 Experiencia de Usuario

El desarrollo centrado en el usuario (DCU) es la técnica de desarrollo propuesta en el formulario de solicitud para llevar a cabo este trabajo. El proceso de desarrollo de la plataforma MOTIVA y sus contenidos involucró a profesores y alumnos desde el inicio de su desarrollo. Se trata de un aspecto realmente innovador para garantizar que los resultados finales sean útiles y que los profesores y los estudiantes participen como usuarios finales. De esta manera se han reducido significativamente las posibilidades de desarrollo de un software que falla en la experiencia del usuario, como se puede ver en este estudio.

El diseño de la experiencia del usuario (UX) abarca todo el recorrido del usuario, por lo que se enmarca en el enfoque de UCD. El diseño para usuarios también exige un mayor alcance en cuanto a la accesibilidad y la adaptación a las limitaciones físicas de muchos usuarios potenciales, como la lectura de textos pequeños. Por lo tanto, las necesidades de los usuarios están en el centro de todos los esfuerzos de diseño y desarrollo en un proceso de trabajo



centrado en el usuario (Figura 1) en el que se necesita una retroalimentación continua del usuario hasta que el desarrollo, en nuestro caso la plataforma MOTIVA, satisfaga todos los problemas relevantes y las necesidades del usuario de forma óptima.

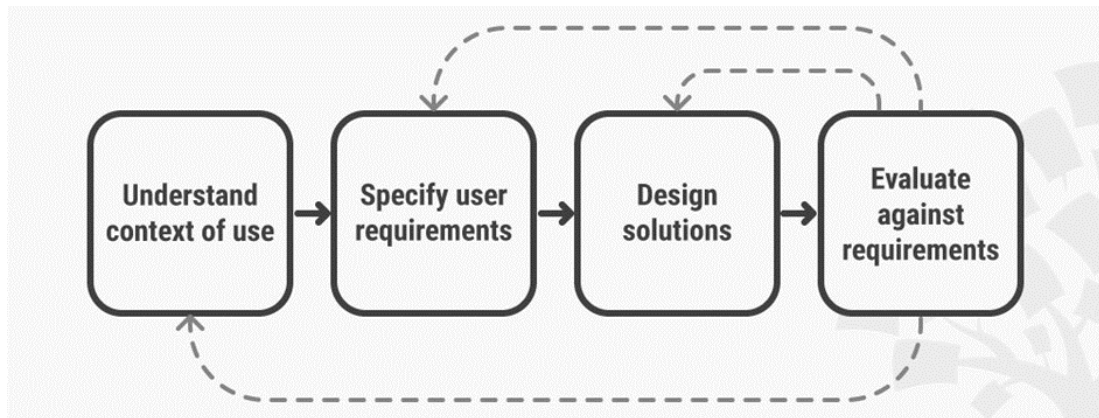


Figura 4: Obtenida de <https://www.interaction-design.org/literature/topics/ux-design>

### 5.3.2.1 Mapas basados en el movimiento del ratón (mouse movement heatmap)

El primer test para analizar la UX ha sido almacenar el movimiento de ratón de todos los usuarios de la plataforma, esta tipología registra el movimiento del ratón los cuales tienden a alinearse con el movimiento de los ojos; existe así una pauta regular e intuitiva que rige el movimiento del ratón semi-inconscientemente hacia los focos de atención.

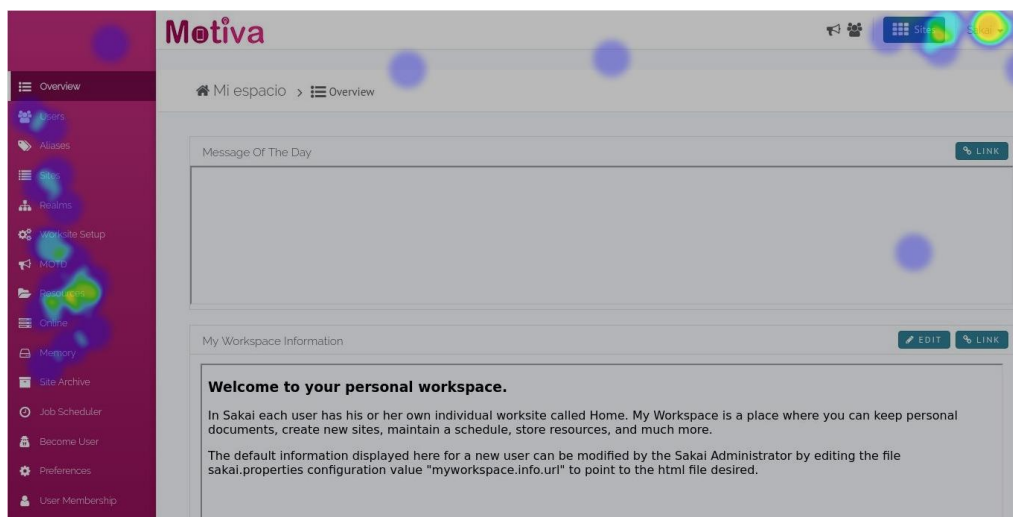


Figura 5: Mapa de calor en la interfaz Motiva

Observando el mapa de calor se puede concluir que las zonas que han creado más interés han sido las siguientes:

1-) Perfil de Usuario

## 5 TECNOLOGÍA EN EL AULA PARA LA MEJORA DEL RENDIMIENTO ACADÉMICO

- 2-) Cursos
- 3-) Recursos
- 4-) Configuración de Cursos

Se puede concluir que los usuarios han realizado una identificación clara de los aspectos claves de la plataforma y no han focalizado su atención sobre zonas ambiguas, lo que repercute en una mejor experiencia de usuario y un aprovechamiento rápido de los recursos que ofrece el sistema.

### 5.3.2.2 Mapas basados en click de ratón (CLICK HEATMAPS)

Este tipo de mapas registran las zonas donde los usuarios de la plataforma han hecho click con el ratón, las zonas de color rojo agrupan el mayor porcentaje de clicks. Mediante este mapa de calor se analiza no sólo las zonas de navegación del usuario sino las zonas de interés que han provocado click.

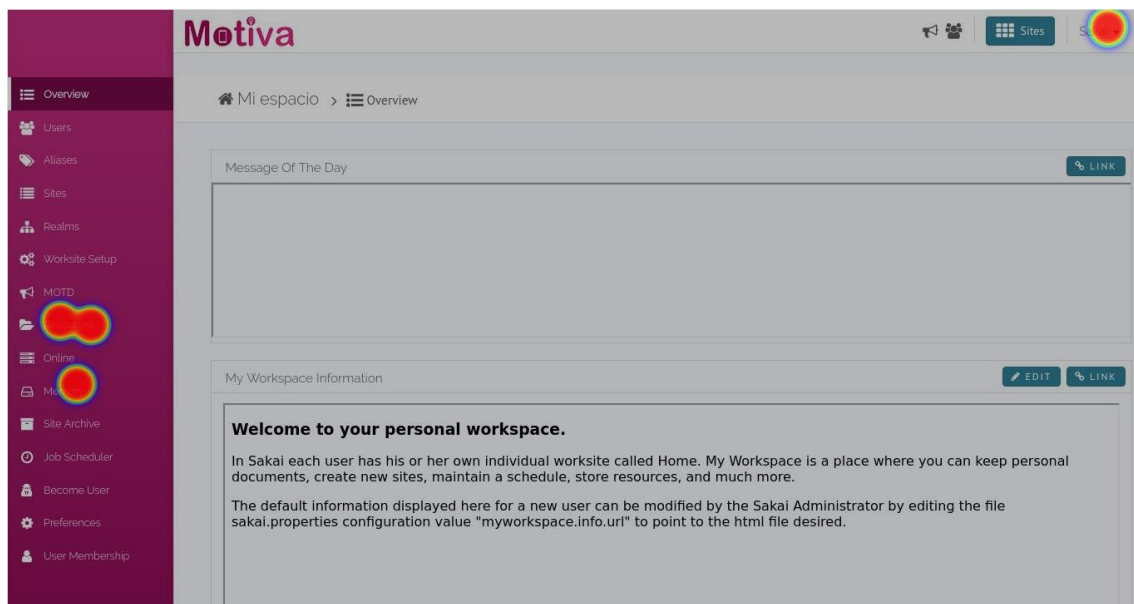


Figura 6: Mapa de calor en la interfaz Motiva

En este caso las zonas más activas son 3:

- 1-) Perfil de usuario
- 2-) Recursos
- 3-) Cursos

### 5.3.2.3 Evaluación de la experiencia de usuario en MOTIVA

Para comprobar que la experiencia de usuario ha sido positiva se superponen ambos mapas de calor para analizar la correlación entre la navegación del ratón y las acciones de click de los usuarios

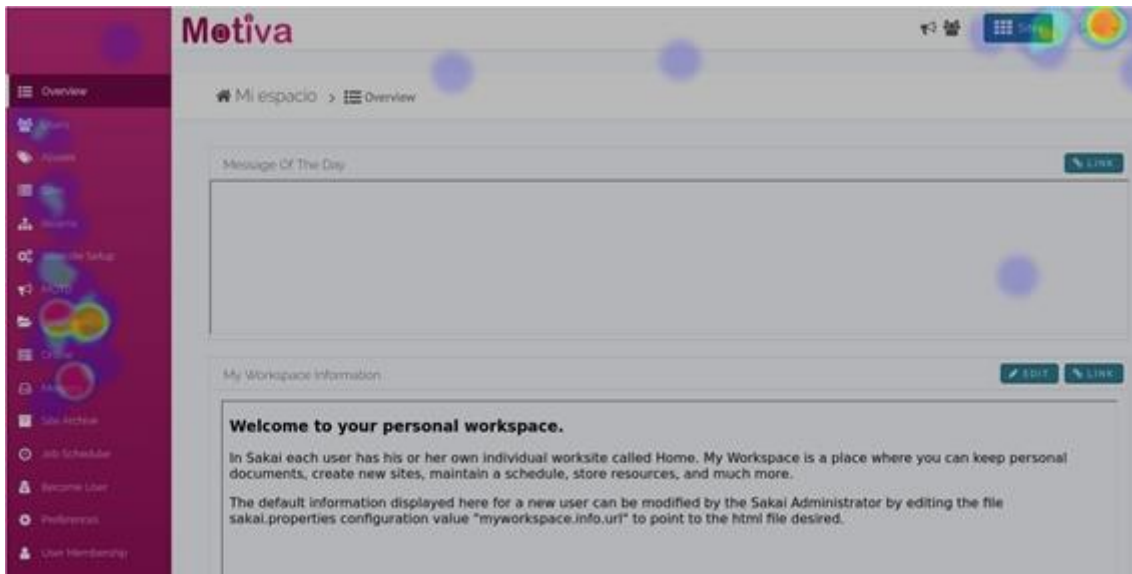


Figura 7: Mapa de calor en la interfaz Motiva

Como se puede observar las zonas más calientes en forma de clicks coinciden con las zonas de navegación de ratón, lo que indica que los usuarios han encontrado fácilmente los recursos y el tiempo de búsqueda ha sido bajo.

### 5.3.3 Conclusiones

En la actualidad, existen diferentes plataformas de e-learning y contenidos tradicionales para promover el espíritu emprendedor en la enseñanza secundaria. MOTIVA ofrece los siguientes aspectos innovadores:

- Se trata de una plataforma que se ejecuta en el aula, lo que significa que la plataforma no sólo se centra en los contenidos, sino que permite la colaboración entre los alumnos, fomentando la interacción entre profesores y alumnos y promoviendo la evaluación y la retroalimentación en tiempo real.
- Las competencias transversales pueden abordarse desde un enfoque global (incluido el desarrollo, las competencias para la cooperación entre los distintos profesores, la oferta de las competencias necesarias y las herramientas de evaluación de las competencias transversales). El desarrollo docente permite la selección y agrupación de funcionalidades, herramientas y recursos según las necesidades de la asignatura y las consideraciones del profesor.
- Desarrollo centrado en el usuario. La plataforma y los contenidos han involucrado a profesores y alumnos desde el inicio de su desarrollo, lo que constituye un aspecto realmente innovador y una garantía como se ha demostrado en la sección de experiencia de usuario, de que la plataforma se ajusta y es bien valorada por los usuarios de la misma.
- Dimensión europea. Este es un verdadero valor añadido del proyecto. En un trabajo anterior [8], que ya se había puesto a prueba en el ámbito de la enseñanza superior, se elaboró una plataforma de aprendizaje electrónico la cual ha sido adaptada a la enseñanza secundaria. Sin embargo, la adaptación a los propósitos de este proyecto ha sido un desafío en términos de ampliar su impacto y abrir la puerta a un uso masivo por parte de las instituciones de educación secundaria. De hecho, la ejecución de este proyecto desde un enfoque europeo ha permitido al consorcio a contribuir a la normalización de criterios y metodologías para promover las capacidades transversales, como el espíritu emprendedor y las competencias digitales, así

como al desarrollo de un marco común de desarrollo y evaluación de las capacidades transversales, siguiendo las políticas y recomendaciones de la UE. Por otra parte, el desarrollo de estas capacidades se ha llevado a cabo siguiendo ciertos estándares por parte de los miembros de la UE para promover la movilidad de los estudiantes y garantizar que todos los ciudadanos europeos adquieran el mismo conjunto de capacidades y competencias. A largo plazo, también conducirá a un aumento de la movilidad dentro de un mercado laboral común europeo y a llenar el vacío entre las cualificaciones que se imparten en el sistema educativo y las que demanda el mercado laboral.

### 5.4 REFERENCIAS

- [1] Hung, S. Y., Chen, C. C. & Lee, W. J. (2009). "Moving hospitals toward elearning adoption: an empirical investigation". *J. of Organizational Change Management*, 22(3), 239-256.
- [2] Shen, L., Callaghan, V. & Shen, R. (September 2008). "Affective e-Learning in residential and pervasive computing environments". *Information Systems Frontiers*. 10(4), 461-472.
- [3] Koretsky, M. D., Amatore, D., Barnes, C. & Kimura, S. (2008). "Enhancement of student learning in experimental design using a virtual laboratory". *IEEE Trans. Educ.*, 51(1), 76-85.
- [4] King, S. O. & Robinson, C. L. (August 2009). "'Pretty Lights' and Maths! Increasing student engagement and enhancing learning through the use of electronic voting systems". *Comp. & Educ.*, 53(1), 189-199.
- [5] Kao, G. Y. -M., Lin, S. S. J. & Sun, C. -T. (2008). "Beyond sharing: engaging students in cooperative and competitive active". *J. Educ. Technology & Society*, 11(3), 82-96.
- [6] Hoic -Bozic, N., Mornar, V. & Boticki, I. (February 2009). "A blended learning approach to course design and implementation". *IEEE Transactions on Education*, 52(1), 19-30.
- [7] Liu, T. -C., Lin, Y. -C. & Bhattacharya, M. (2008). "Introducing learning technologies into classroom in accordance with teacher's instructional approach". *Proc. 8th Intl. Conf. on Adv. Learn. Tech., ICALT'08, Santander (Spain)*, 1007-1008.
- [8] Konstantinidis, A., Tsiatsos, T. & Pomportsis, A. (September 2009). "Collaborative virtual learning environments: design and evaluation". *Multimedia Tools & App.*, 44(2), 279-304.
- [9] Zurita, G. & Nussbaum, M. (March 2007). "A conceptual framework based on activity theory for mobile CSCL". *British Journal of Education and Technology*, 38(2), 211-235.
- [10] Allen, B., McAipine, I., Hoffman, M. & Munroe, P. (2009). "A blended approach to collaborative learning: making large group teaching more student-centred". *Intl. Journal of Engineering Education*, 25(3), 569-576.
- [11] Dan, Y. & Xin Meng, C. (2007). "Supporting collaborative learning activities with IMS LD". *Proc. 9th Intl. Conf. on Adv. Comm. Tech., ICACT'07, Phoenix Park (Korea)*, 316-320.
- [12] García-Robles, R., Díaz-del-Río, F., Vicente-Díaz, S. & Linares-Barranco, A. (August 2009). "An eLearning standard approach for supporting PBL in computer engineering". *IEEE Transactions on Education*, 52(3), 328-339.
- [13] Linge, N. & Parsons, D. (February 2006). "Problem-based learning as an effective tool for teaching computer network design". *IEEE Transactions on Education*, 49(1), 5-10.
- [14] Costa, R. J., Honkala, M. & Lehtovuori, A. (February 2007). "Applying the problem-based learning approach to teach elementary circuit analysis". *IEEE Trans. on*

- Educ., 50(1), 41-48.
- [15] Fitzpatrick, C. (May 2008). " A problem-based learning (PBL) module on electronics & the environment". 16th IEEE Intl. Symp. for Eng. Educ., ISEE'08, San Francisco, 1-6.
- [16] Gálvez, J., Guzmán, E., & Conejo, R. (2009). "A blended E-learning experience in a course of object-oriented programming fundamental s". Knowledge-Based Systems, 22(4), 279-286.
- [17] Sancho, P., Corral, R., Rivas, T., Gonzalez, M.J., Chordi, A. & Tejedor, C. (2006). " A blended learning experience for teaching microbiology". American Journal of Pharmaceutical Education, 70(5), art. no. 120.
- [18] Kazi, S. A. (2007). "MILE: mobile intelligent learning environment - a conceptual framework for mLearning". International Journal of Engineering Education, 23(3), 468-4 73.
- [19] Motiwalla, L. F. (November 2007). "Mobile learning: a framework and evaluation". Computers & Education, 49(3), 581-596.
- [20] Frohberg, D., Gothe, C. & Schwabe, G. (April 2009). "Mobile learning projects - a critical analysis of the state of the art". Journal of Computer Assisted Learning", 25(4), 307- 331.
- [21] Anido-Rifon, L. (April 2008). "Accessibility and supporting technologies in mlearning standardization". 3rd International Conference on Systems, ICONS'08, Cancun, 162- 167.
- [22] Evans, C. (2008). "Effectiveness of m-learning in the form of podcast revision lectures in higher education ". Comp. Edu., 50(2), 491-498.
- [23] Hongru, Q., Wang, M., Tong, R., Shen, R., Wang, J. & Gao, Y. (July 2006). "The design and implementation of an interactive mobile learning system". Proc. of 6th Intl. Conf. Adv. Learn. Tech., IC ALT'06, Netherlands, 947-951.
- [24] Liu, Y., Liu J. & Yu S. (2008). " A Case Study on Mobile Learning Implementation in Basic Education". Proc. of Intl. Conf. Comp. Sci. Soft. Eng., CSSE'08, Wuhan (China), 5, 593-597.
- [25] Wang, M. J., Novak, D. & Shen, R.M. (August 2008). " Assessing the effectiveness of mobile learning in large hybrid /blended classrooms". Proc. 1st Intl. Conf. on Hybrid Learn. Educ., ICHL ' 08, Hong Kong (China), 304-315.
- [26] Martín, E. & Carro, R. M. (January-March 2009). "Supporting the development of mobile adaptive learning environments: a case study". IEEE Trans. on Learning Tech., 2(1), 23- 36.
- [27] Huang, Y. M., Kuo, Y. H., Lin, Y. T. & Cheng, S. C. "Toward interactive mobile synchronous learning environment with context awareness service ". Comp. Educ., 51(3), 1205- 1226.
- [28] Recommendation 2006/962/EC; Entrepreneurship Education at School in Europe, 2012.
- [29] Developing Key Competences at School in Europe: Challenges and Opportunities for Policy, Eurydice Report, 2012.
- [30] Sousa, M. J., & Almeida, M. do R. (2014). Entrepreneurial skills development. Recent Advances in Applied Economics, 135–139.
- [31] Bosma, N.S., Wennekers, S. and Amorós, J.E. (2012). Global Entrepreneurship Monitor 2011 Extended Global Report: Entrepreneurs and entrepreneurial employees across the globe, Babson Park, MA, US: Babson College, Santiago, Chile: Universidad del

## 5 TECNOLOGÍA EN EL AULA PARA LA MEJORA DEL RENDIMIENTO ACADÉMICO

Desarrollo, Kuala Lumpur, Malaysia: Universiti Tun Abdul Razak and London, UK: Global Entrepreneurship Research Association.

- [32] PISA 2012 Assessment and Analytical Framework, 2013.
- [33] Funke, J. Complex problem solving. A case for complex cognition? *Cognitive Processing*, 11, 133-142. 2010.
- [34] *Entrepreneurship Education: Enabling Teachers as a Critical Success Factor*, 2011
- [35] Cabrera-Lozoya, A., Cerdan, F., Cano, M.-D., Garcia-Sánchez, D. & Lujan, S. Unifying heterogeneous e-learning modalities in a single platform: CADI, a case study, *Computers & Education*, 2012, 58(1), 617–630.



# CAPÍTULO 6

## SERVICIO DE LOCALIZACIÓN Y DIFUSIÓN DE CONTENIDOS CONTEXTUALES



## 6 SERVICIO DE LOCALIZACIÓN Y DIFUSIÓN DE CONTENIDOS CONTEXTUALES

En este capítulo mostramos los aspectos fundamentales de las aplicaciones y servicios contextuales desarrollados como última contribución de esta tesis a las aplicaciones telemáticas.

El sistema se ha desarrollado para su instalación en museos, salas de exposiciones entre otros escenarios en los que se requiera una difusión selectiva de contenidos en función de la localización geográfica dentro del recinto.

Mediante la ejecución de una aplicación cliente en PDAs los usuarios visitantes pueden obtener información sobre la localización en la que se encuentran en cada momento de forma dinámica. Una vez conocida la localización pueden acceder a contenidos multimedia asociados a los elementos existentes en las zonas geográficas que visitan mediante la interacción con un servidor de difusión de contenidos existente en el sistema y una infraestructura de red inalámbrica. La comunicación se efectúa a través de una red IEEE 802.11b/g compuesta por una serie de puntos de acceso enlazados entre sí inalámbricamente mediante WDS (Wireless Distribution System) estando al menos uno de ellos enlazado con el servidor de difusión de contenidos. Mediante esta modalidad de interconexión se garantiza a los clientes el acceso al servidor siempre y cuando puedan establecer conectividad con al menos uno de los puntos de acceso existentes en el escenario. El sistema es extensible a IEEE 802.16, es decir Wimax, no obstante, aún no existen en el mercado CPEs de usuario del estilo PDA, Smartphone o PCMCIA por lo que la descripción, implementación y pruebas se han basado en Wifi. No obstante, el sistema desarrollado se puede usar conjuntamente con clientes Wimax de la clase IEEE 802.16d-2004 de forma que podemos ampliar el alcance de los dispositivos Wifi y así utilizar el sistema en Parques Naturales, parques temáticos, grandes centros comerciales, polígonos industriales, etc.

### 6.1 ESCENARIO DE TRABAJO

En este apartado vamos a mostrar el escenario de aplicación en el que se puede utilizar el sistema desarrollado. También se citarán los componentes necesarios para un correcto funcionamiento. En el escenario se pueden identificar los siguientes componentes:

- Servidor de difusión de contenidos.
- Clientes.
- Red de acceso y localización.
- Ubicaciones y elementos expuestos.

Como ejemplo de aplicación mostramos en la figura 1 un escenario en el que aparecen todos los componentes mencionados:

## 6 SERVICIO DE LOCALIZACIÓN Y DIFUSIÓN DE CONTENIDOS CONTEXTUALES

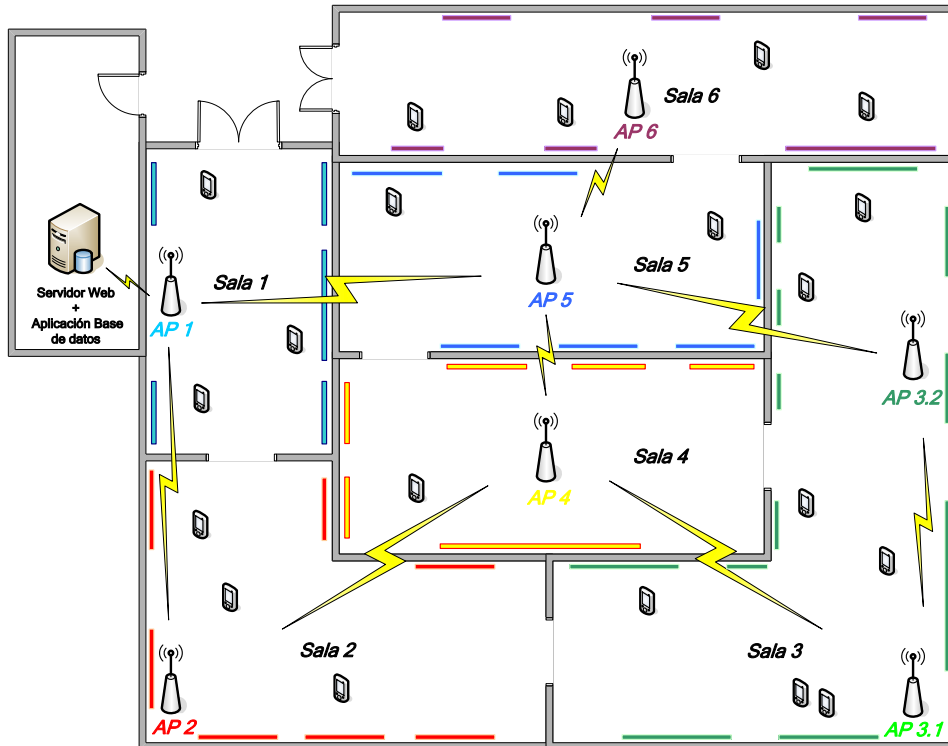


Figura 1: Escenario de aplicación

En la figura 1 se pueden identificar seis estancias de manera que en cada sala existe un número determinado de elementos expuestos los cuales se denotan en la figura mediante rectángulos de color próximos a las paredes del recinto. También existe una estancia donde se aloja el servidor de difusión de contenidos.

Los visitantes poseen PDAs de manera que poseen movilidad dentro del escenario con lo cual el sistema de localización debe obtener la ubicación en la que se encuentra cada terminal de forma autónoma. Los clientes pueden conocer en todo momento el nombre de la sala en la que se encuentran además de obtener un listado con los elementos expuestos.

Esta lista tiene carácter dinámico ya que su contenido se actualiza cuando un cliente cambia de estancia y además permite al usuario escoger uno de los elementos para poder realizar una petición de información asociada al elemento expuesto al que hace referencia. La información se entrega al cliente que la solicita mostrándose en la pantalla del dispositivo móvil.

En cada estancia existe un punto de acceso inalámbrico, a su vez los puntos de acceso próximos entre sí están enlazados conformando una infraestructura de red inalámbrica que permite a las PDAs la conectividad con el servidor de difusión de contenidos. Por lo tanto, al menos uno de los puntos de acceso debe estar conectado al servidor para realizar funciones de encaminamiento entre la red de puntos de acceso inalámbricos y el servidor.

Además, estos puntos de acceso se posicionan para lograr un correcto funcionamiento de la tecnología de localización empleada en el sistema la cual se describirá más adelante.

Puede darse el caso en el que se requiera más de un punto de acceso ubicado por estancia en función de las dimensiones de la misma como ocurre en la Sala 3 de la figura 1.

### 6.2 ELEMENTOS DEL SISTEMA

En este apartado se muestran en detalle los elementos que componen el servicio de localización y contenidos contextuales.

#### 6.2.1 Servidor de difusión de contenidos

Es un elemento centralizado que desempeña dos funciones en el sistema:

- Opera como servidor de base de datos. La base de datos está alojada en el servidor como un fichero de texto conteniendo información de interés sobre los puntos de acceso presentes en las salas y los elementos expuestos. Esta información la necesita la aplicación cliente de cada PDA al comenzar su ejecución.

Esta aplicación servidor también incorpora la funcionalidad necesaria que permite la generación de un fichero de configuración con la información necesaria para acceder al servidor de manera que este fichero debe instalarse junto a la aplicación cliente en cada PDA.

- Para la difusión de contenidos asociados a los elementos expuestos se requiere la existencia de una aplicación servidor web que se ejecute junto a la aplicación anterior. Por lo tanto, cuando un cliente solicita al servidor la información de un elemento este la sirve mediante una web desarrollada en HTML, PHP u otros lenguajes.

La dirección IP del servidor se establece previamente de manera estática además de un puerto de comunicaciones TCP utilizado en el establecimiento de conexiones con la aplicación que gestiona la base de datos. Cuando hay cambios en alguno de estos parámetros es necesario actualizar los ficheros de configuración en todos los dispositivos móviles que actúan como clientes del sistema.

Como hardware se utilizará un PC con una interfaz de red WLAN o Ethernet y en cuanto a sistema operativo se refiere puede estar instalado o bien Windows o Linux ya que la aplicación servidor de base de datos se ha desarrollado en Java.

#### 6.2.2 Clientes

Como se ha mencionado anteriormente los clientes del sistema poseen dispositivos PDAs que ejecutan la aplicación cliente desarrollada. En cuanto a necesidades hardware se requiere que los dispositivos móviles posean una interfaz de red WLAN SDIO para poder utilizar la tecnología de localización además de ser posible la recepción de contenidos contextuales.

La aplicación cliente se ha desarrollado en Java y se requiere de manera adicional la instalación de una máquina virtual en las PDAs ya que por defecto los sistemas operativos propios de este tipo de dispositivos como Windows Mobile o Windows CE no incorporan ninguna. A su vez la aplicación requiere la existencia de un fichero de configuración de tipo texto denominado

## 6 SERVICIO DE LOCALIZACIÓN Y DIFUSIÓN DE CONTENIDOS CONTEXTUALES

“*Acceso.ini*” que debe instalarse de manera conjunta. Este fichero contiene los datos de acceso para poder establecer una conexión con el servidor y un identificador para la PDA.

### 6.2.3 Red de acceso y localización

La conforman los puntos de acceso existentes en las estancias del recinto. Estos puntos de acceso se utilizan tanto para el envío y recepción de información entre clientes y servidor además de ser la base de la tecnología de localización empleada.

Cada punto de acceso tendrá una dirección MAC única e inmutable que se considerará como identificador de punto de acceso. De manera opcional se puede establecer un SSID o bien ocultar su difusión, también se permite la habilitación del filtrado MAC y contraseñas WPA en la configuración de seguridad de los puntos de acceso.

La ubicación de estos dispositivos depende de las dimensiones de la sala. No se recomienda que estén muy próximos entre sí debiendo existir al menos una separación superior a 3 metros para evitar un comportamiento inapropiado de la tecnología de localización. Incluso también sería recomendable un ajuste de la potencia de transmisión de los puntos de acceso con el fin de equalizar los niveles de señal recibidos en cada estancia en el caso que hubiese incoherencia en el proceso de estimación de localización por parte de los clientes o bien la existencia de elementos físicos que dificulten la propagación de las señales transmitidas al aire.

Para enlazar los puntos de acceso se requiere que estos incorporen la funcionalidad WDS correctamente configurada de manera que un punto de acceso puede ser cliente de otros puntos de acceso lográndose una extensión del radio de cobertura global de la red.

### 6.2.4 Ubicaciones y elementos expuestos

Para el sistema implementado interesa únicamente el nombre de las estancias, los elementos expuestos en ellas y la información asociada a cada elemento que figurará como una página web en el servidor.

Mediante una funcionalidad aún no implementada en la aplicación que gestiona la base de datos se podrá modificar la misma de manera que se pueda introducir, borrar o modificar tanto los puntos de acceso que hacen referencia a las salas como la información de los elementos expuestos.

## 6.3 TECNOLOGÍA DE LOCALIZACIÓN

A la hora de escoger la metodología que los clientes deben seguir para realizar las tareas relacionadas con la localización hemos tenido en cuenta las limitaciones en cuanto a recursos energéticos se refiere. Con lo cual resultaba necesario plantear una solución de manera que se pueda estimar la posición de cada dispositivo de forma autónoma sin tener que transmitir constantemente información al servidor u otro elemento central de la red.

La metodología de estimación de posición empleada por los clientes tiene lugar de forma autónoma por lo que estos simplemente escuchan el medio en busca de señales WLAN. Seguidamente se aplica una heurística de proximidad de manera que un dispositivo determina que se encuentra en una localización u otra en función del nivel de potencia perteneciente a las

señales que provienen de los puntos de acceso alcanzables. Tras realizar la comparación de niveles de potencia se determina que el dispositivo se encuentra en la ubicación perteneciente al punto de acceso con mayor nivel de señal recibida.

En la siguiente figura se puede ver de forma gráfica como una PDA estima su localización en el escenario mencionado anteriormente a partir de las señales de los puntos de acceso alcanzables AP1, AP2, AP4 y AP5:

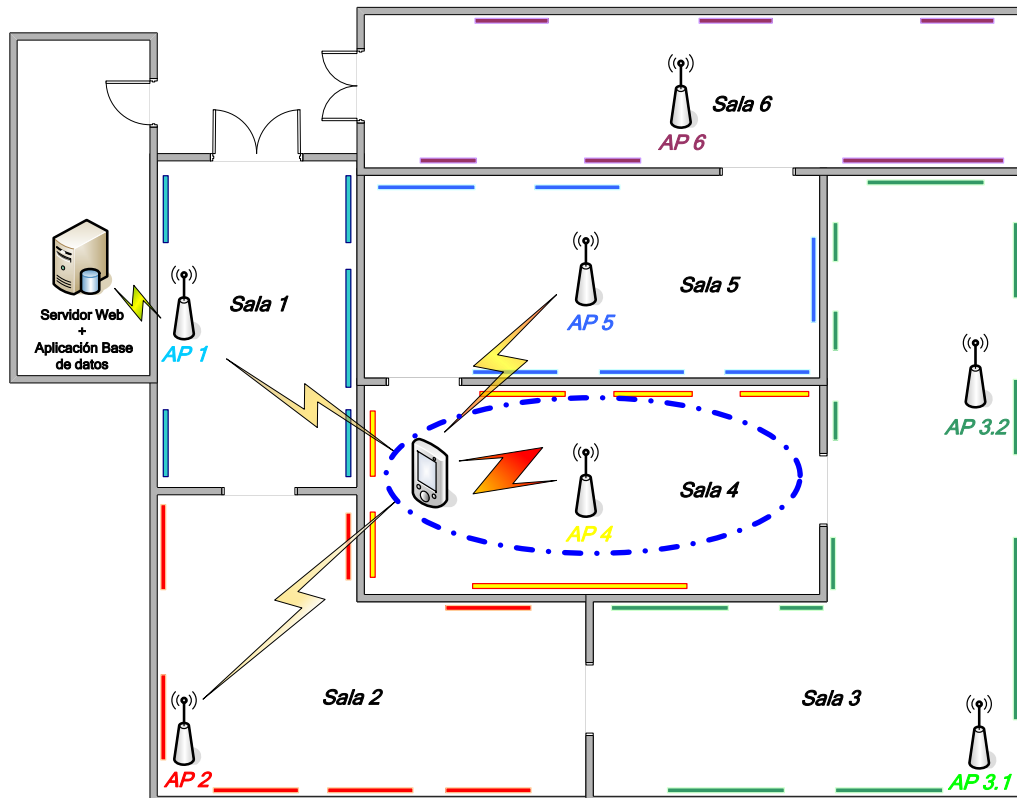


Figura 2: Estimación de posición

En la fase de estimación el terminal determina que el mayor nivel de señal procede del punto de acceso AP4 por lo que el terminal se encuentra en la Sala 4.

Supongamos un caso en el que un dispositivo cliente pueda estar a menor distancia física de un punto de acceso del que no se recibe la máxima potencia en comparación con la distancia al punto de acceso de mayor potencia como se ilustra en la siguiente figura 3:

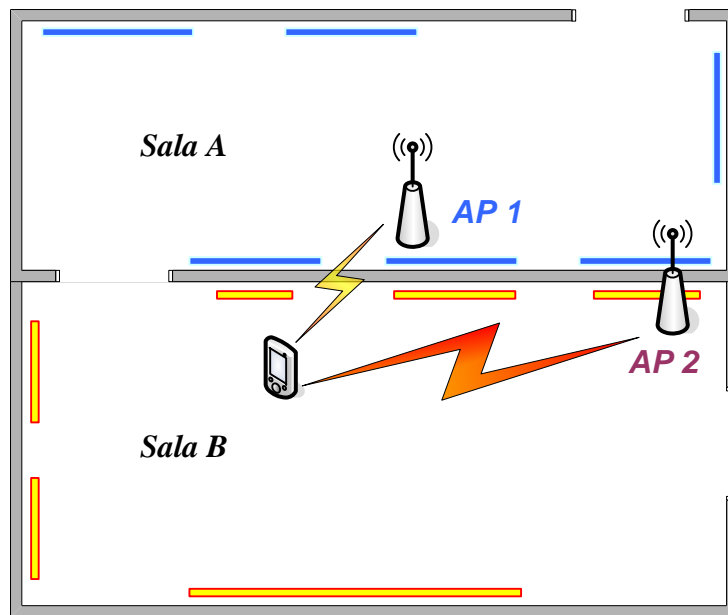


Figura 3: Estimación con puntos de acceso cercanos

En principio la localización determinada por la aplicación podría ser errónea si se obtiene como potencia de señal máxima la del dispositivo más cercano, pero en verdad esa potencia experimenta una atenuación provocada por una pared que separa las estancias A y B de manera que realmente la potencia máxima recibida proviene del punto de acceso AP 2 siendo correcta la estimación de la posición del dispositivo ya que se encuentra en la sala B.

La atenuación producida por las paredes que separan las estancias es un hecho favorable ya que podrán instalarse puntos de acceso a ambos lados de una pared que divide dos estancias.

Escogiendo adecuadamente la ubicación de los puntos de acceso y el nivel de potencia emitida se puede lograr una eficiencia de localización con un error inferior a 1,5 metros.

Esta técnica no requiere un entrenamiento por las zonas transitables del recinto como ocurre en otras aunque sí se aconseja una comprobación del funcionamiento del sistema, reajuste de niveles de potencia transmitida por los puntos de acceso y reubicación de los mismos si fuese necesario para solventar imprecisiones o anomalías provocadas por problemas en la propagación de las señales WiFi como colisiones por rebotes de la señal, presencia de objetos físicos que degraden o incluso impidan la comunicación, etc.

Además, deben posicionarse los puntos de acceso para permitir la conectividad entre ellos con el fin de ofrecer la infraestructura necesaria para permitir la conectividad del servidor de difusión de contenidos con los clientes.

### 6.4 DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD

Las aplicaciones tanto de lado del servidor como de las PDAs se han desarrollado en Java por cuestiones de portabilidad entre sistemas operativos.

La aplicación del cliente se ha desarrollado y compilado garantizándose la compatibilidad con Java 1.4 ya que hay máquinas virtuales para PDA como por ejemplo la máquina J9 de IBM que exigen esta restricción. Esto ha supuesto una limitación ya que en primera instancia se pretendía utilizar un servidor de base de datos MySQL, pero como los drivers JDBC para MySQL requieren objetos de Java 1.6 no hemos encontrado clases que nos permitan establecer conexiones con un servidor de bases de datos MySQL.

La solución adoptada ante este problema consiste en la creación de la aplicación servidor ya mencionada en la que se emplean Sockets para establecer conexiones y difundir contenidos de la base de datos.

Referente a la aplicación servidor web se han hecho pruebas con éxito utilizando un servidor web Apache instalado en el servidor de difusión de contenidos por lo que se utilizará este servidor web junto a la aplicación servidor implementada en el mismo ordenador.

A continuación, mostramos aspectos de diseño y funcionamiento de cada aplicación por separado.

#### 6.4.1 Aplicación Cliente

Esta aplicación posee un hilo principal que controla la interfaz gráfica y otros hilos de ejecución concurrentes relacionados con las tareas de localización y comunicación con el servidor.

En la aplicación pueden distinguirse módulos desarrollados como objetos Java que desempeñan funciones en concreto. En la figura 4 mostramos de forma gráfica la relación entre componentes:

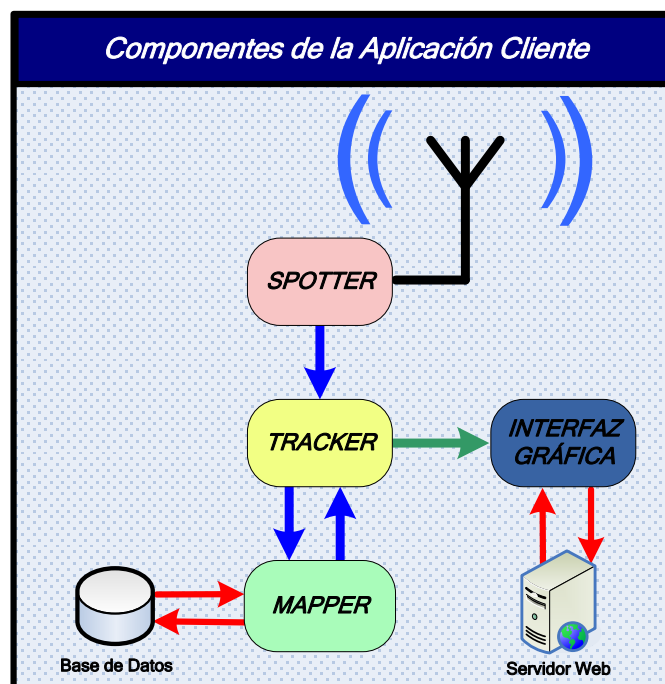


Figura 4: Componentes de la aplicación Cliente

Veamos cada uno de ellos con mayor detalle:

- **Spotter:** Para las tareas de escaneo del medio se recurre a este módulo el cual interactúa con el sistema operativo de la PDA a través de código nativo disponible en una librería dinámica con el fin de obtener un listado de las

## 6 SERVICIO DE LOCALIZACIÓN Y DIFUSIÓN DE CONTENIDOS CONTEXTUALES

direcciones físicas, potencia de señal recibida e identificadores SSID pertenecientes a los puntos de acceso y redes ad-hoc alcanzables geográficamente.

Este módulo realiza de forma reiterada esta búsqueda de dispositivos y la pone a disposición de otros módulos funcionales de la aplicación cliente.

- ***Mapper:*** Este módulo accede al servidor de base de datos del sistema a partir de los datos existentes en el fichero *Acceso.ini* con el fin de extraer la información relacionada con los puntos de acceso y los elementos expuestos en las salas donde se ubican estos puntos de acceso. También se implementan los mecanismos de control de errores producidos en el proceso de conexión al servidor o bien en la lectura del fichero de configuración.
- ***Tracker:*** Mediante este módulo se llevan a cabo las tareas de selección de puntos de acceso útiles extraídos de la base de datos del servidor mediante el *Mapper*, se toman las lecturas del total de dispositivos emisores captados por el módulo *Spotter* descartándose aquellos que no figuren en la base de datos los cuales no harían referencia a ninguna localización geográfica y por tanto son externos al sistema.

Una vez obtenidos los puntos de acceso útiles alcanzables se lleva a cabo la estimación de la posición del usuario mediante la utilización de la técnica de heurística de proximidad descrita anteriormente aplicada al nivel de potencia de señal. El resultado de la estimación se comunica al módulo de la interfaz gráfica para la actualización del nombre de la sala actual y el listado de elementos expuestos.

- ***Interfaz gráfica:*** En este módulo se recogen todos los elementos gráficos que se muestran en la pantalla de la PDA. Tras realizar una búsqueda sobre componentes gráficos disponibles para estos dispositivos tan limitados, hemos empleado finalmente componentes SWT (The Standard Widget Toolkit) particularizando en el subconjunto de componentes eRCP (embedded Rich Client Platform) optimizados para dispositivos móviles. Para estos componentes existen escuchadores de eventos que permiten la recolección y procesado de eventos que se derivan de la interacción del usuario con la pantalla táctil o bien botones existentes en la PDA. Si el usuario selecciona un elemento para obtener información mediante un objeto en concreto se accede a la web asociada al elemento expuesto que se sirve mediante la aplicación servidor web ya mencionada.

Una vez comprendida la arquitectura del cliente pasamos a una descripción algorítmica del funcionamiento de estos componentes en conjunto.

En la figura 5 se puede observar un diagrama de flujo en el que se muestra el hilo de ejecución principal.



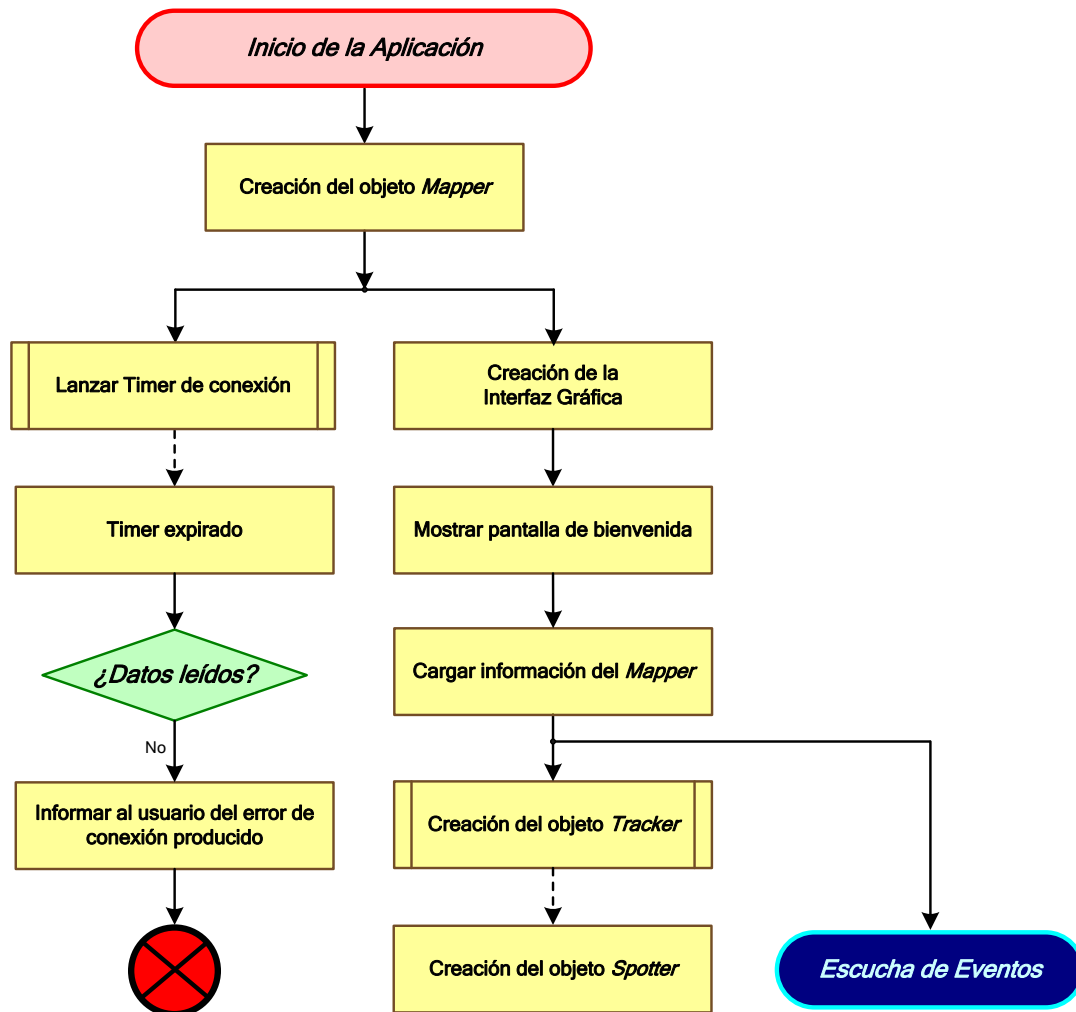


Figura 5: Hilo de ejecución principal

Como se puede observar en la figura anterior inicialmente se crea el objeto *Mapper* el cual trata de acceder al fichero *Acceso.ini* con el fin de extraer los parámetros necesarios para establecer una conexión con el servidor, seguidamente obtiene la información de los puntos de acceso y elementos expuestos del servidor.

A la misma vez se lanza un *Timer* que actúa como un thread concurrente. Si al expirar ese *Timer* tras el tiempo especificado no hay datos leídos desde la base de datos eso significa que ha ocurrido un error en la operación por lo que se muestra al usuario un mensaje con un código de error que le permita identificar la anomalía. Los códigos de error pueden ser los siguientes:

- ***ERROR 102:*** Este error hace referencia al caso en el que no se ha encontrado el fichero con la configuración de acceso al servidor *Acceso.ini* en el mismo directorio donde está el fichero *jar* de la aplicación.
- ***ERROR 103:*** Si expira el *Timer* y no se ha podido crear una conexión hacia el servidor y además ni siquiera es alcanzable la dirección IP destino existente en el fichero de configuración entonces se informaría al usuario mediante este error.

- **ERROR 104:** Otra situación de interés es aquella que tras expirar el *Timer* no se ha podido establecer una conexión al servidor, pero en cambio se puede alcanzar el dispositivo con la dirección IP leída del fichero de configuración. Por lo tanto, el error consiste en que la máquina que actúa como servidor no está ejecutando su aplicación de servidor de base de datos o bien la dirección IP no corresponde a un servidor buscado sino a otro tipo de dispositivo.

En cualquiera de los casos anteriores tras mostrar el aviso al usuario se finaliza la aplicación al no disponer de la información esencial utilizada por la tecnología de localización.

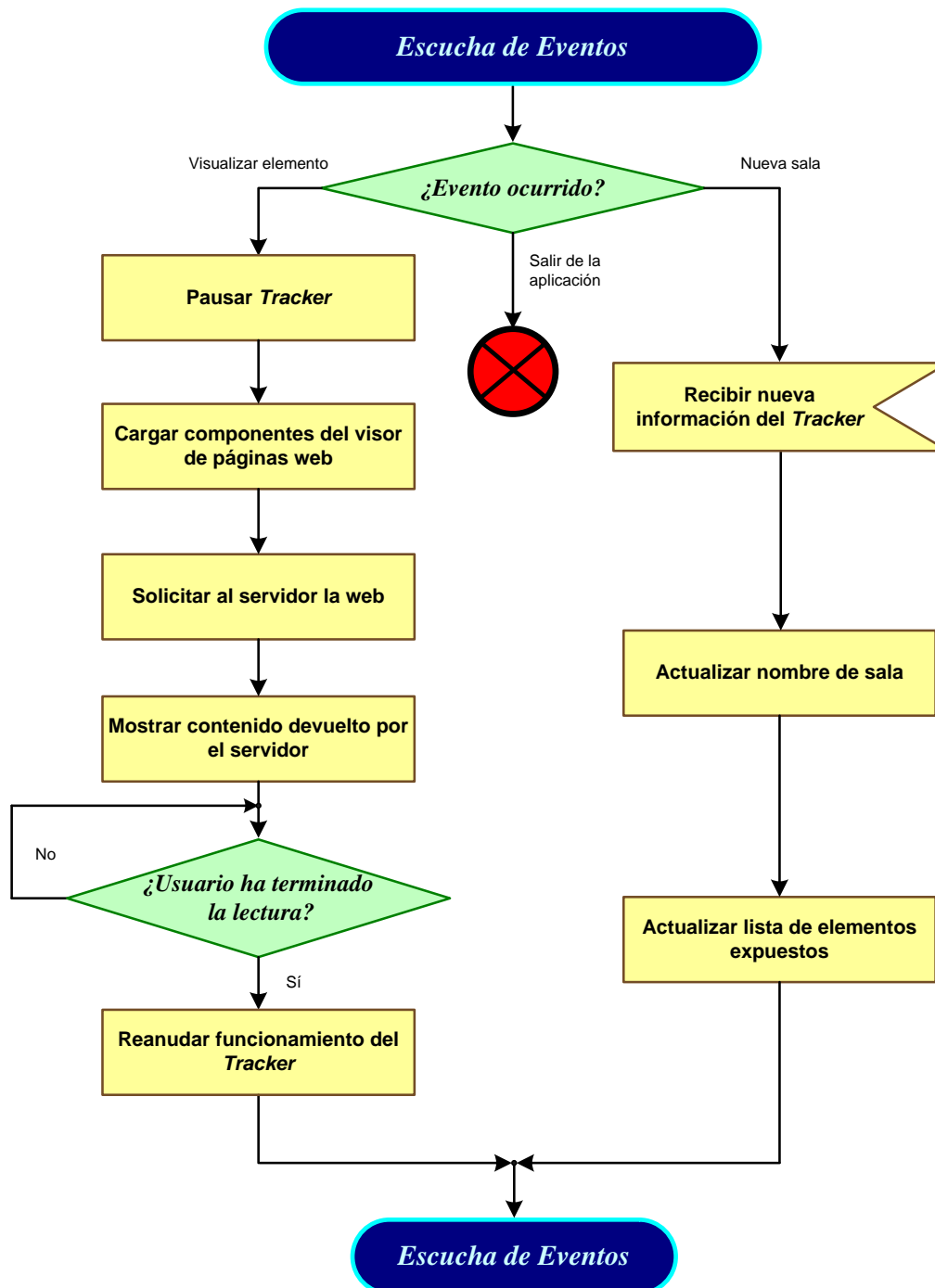


Figura 6: Procesado de eventos

Si por el contrario se ha podido acceder a la base de datos entonces se carga en la aplicación la información y se pone a disposición del objeto *Tracker* el cual también se instancia como un proceso ligero concurrente. A su vez el objeto *Tracker* crea el objeto *Spotter* al que irá haciendo un sondeo periódico cada cierto tiempo especificado en el código fuente de la aplicación.

De manera simultánea se crea la interfaz gráfica de usuario y se muestra una pantalla de bienvenida quedando el hilo principal de ejecución en un estado de espera en el que o bien puede producirse un evento provocado por el usuario al interactuar con la aplicación o bien puede producirse un evento interno provocado por el objeto *Tracker* ante un cambio de la ubicación del dispositivo o bien puede producirse un evento cuando se quiere salir de la aplicación.

El tratamiento de estos eventos se muestra en la figura 6. Referente al evento en el que el usuario ha seleccionado un elemento expuesto en la lista y pretende consultar la información existente sobre el mismo se detiene la actividad de sondeo del objeto *Spotter* mediante una pausa en el ciclo de actividad del objeto *Tracker*. Esto se lleva a cabo con el fin de optimizar el consumo energético ya que mientras se está consultando información de un elemento no resulta relevante la estimación de la posición en la que se encuentra el dispositivo. Una vez consultada la información inmediatamente se reanuda la actividad del objeto *Tracker* actualizándose la sala que figura en la interfaz gráfica si se han producido cambios de ubicación.

Por último, vamos a profundizar en el funcionamiento de los objetos *Spotter* y *Tracker*. En cuando al objeto *Spotter* su funcionamiento es el que aparece en el siguiente diagrama:

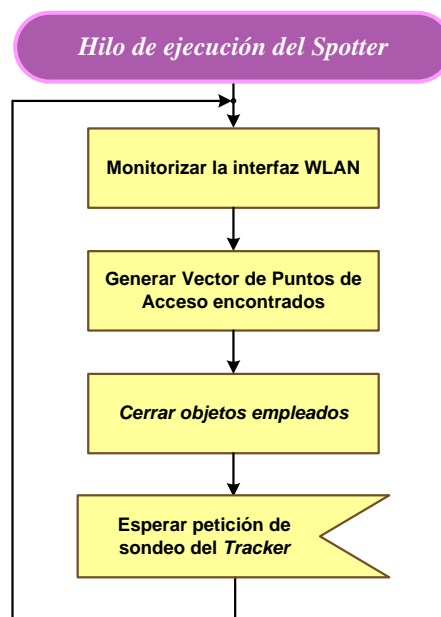


Figura 7: Funcionamiento del objeto *Spotter*

Inicialmente se monitoriza la interfaz de red mediante objetos que acceden a una librería dinámica compilada con código nativo y JNI, si no se puede acceder a ellos se notificaría un ERROR 101 al usuario. Este objeto devuelve un listado con los puntos de acceso encontrados para el *Tracker*. Una vez que se ha terminado la generación del vector de puntos de acceso se cierran los objetos empleados y el objeto permanece pausado esperando que el *Tracker* vuelva a realizar una petición de sondeo.

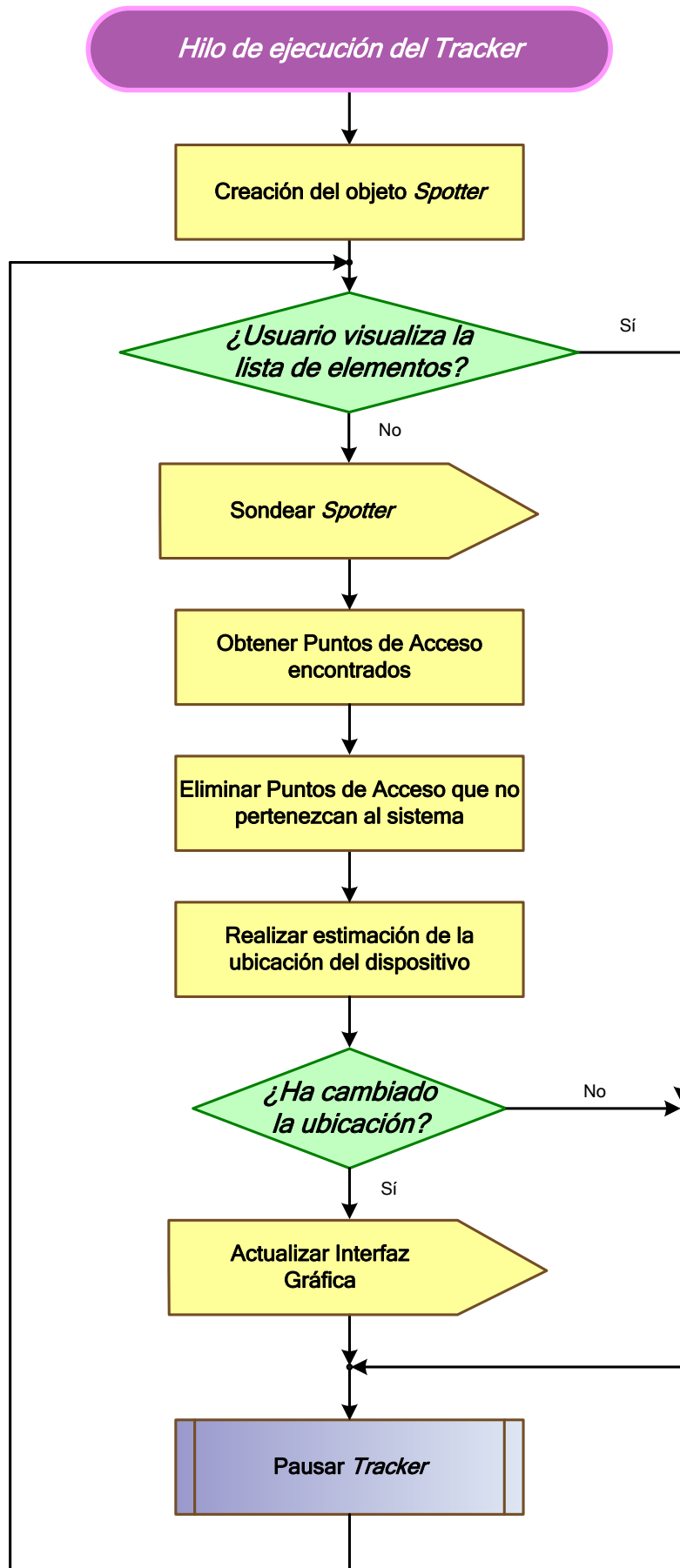


Figura 8: Funcionamiento del objeto Tracker

Referente al funcionamiento del *Tracker* tras crear el objeto *Spotter* mencionado anteriormente se realiza una petición de búsqueda de puntos de acceso alcanzables. Seguidamente se extraen del *Spotter* los puntos de acceso encontrados y se eliminan aquellos que no pertenecen al sistema gracias a la información que proporciona el objeto *Mapper*. Una vez que se conocen los puntos de acceso que pueden hacer referencia a las estancias del escenario entonces ya se puede pasar a la fase de estimación en la que se aplica la metodología de localización descrita anteriormente. Después se comprueba si es necesario actualizar la pantalla ya que si no hay cambios de ubicación se evitaría esta tarea. Tanto en un caso como en otro finalmente el hilo de ejecución del proceso ligero con el que se modela el *Tracker* permanece pausado un tiempo definido en el código de manera que cuando expira ese tiempo se vuelve a repetir indefinidamente todos los procedimientos descritos salvo la creación del objeto *Spotter* ya que el que se crea inicialmente puede reutilizarse.

#### 6.4.2 Aplicación Servidor de Base de Datos

Referente a la aplicación que se ejecuta en el servidor de difusión de contenidos también posee un hilo principal de control de la interfaz gráfica de usuario y otros hilos concurrentes para las tareas de lectura, escritura de ficheros además de las tareas relacionadas con las comunicaciones con los clientes.

La interfaz gráfica de esta aplicación se basa en los componentes *Swing* incluidos en los entornos ejecución de Java por defecto. Mediante una interfaz amigable el administrador del sistema puede controlar el servidor de la base de datos además de comprobar el funcionamiento del mismo y los eventos producidos. Referente al funcionamiento de la aplicación el hilo principal sigue el siguiente diagrama:

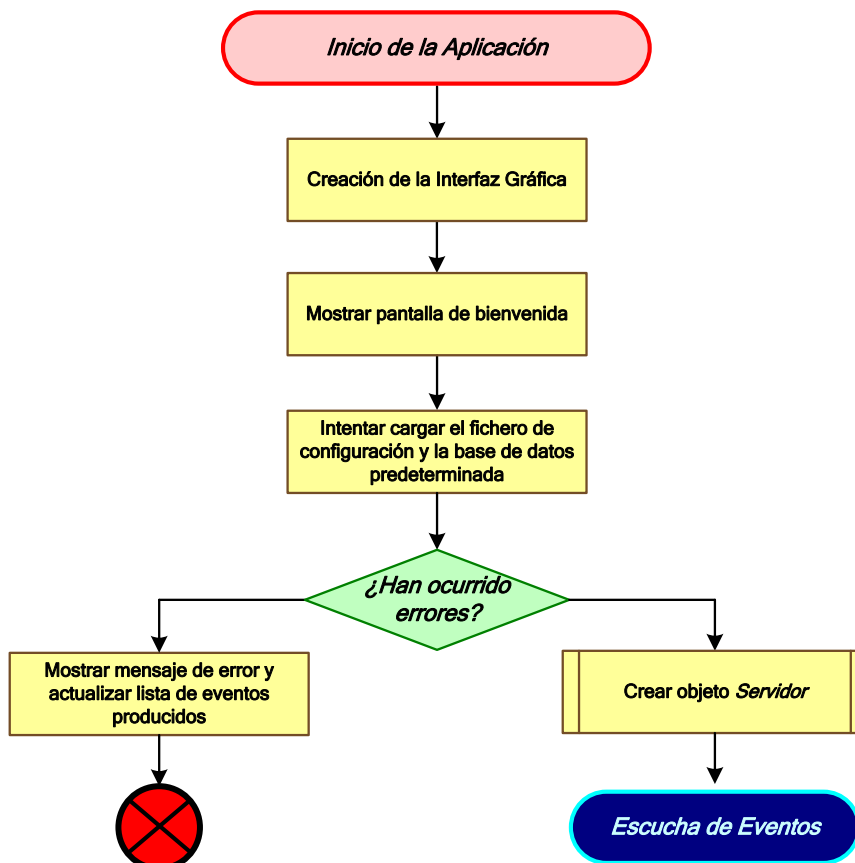


Figura 9: Hilo principal de la aplicación Servidor

## 6 SERVICIO DE LOCALIZACIÓN Y DIFUSIÓN DE CONTENIDOS CONTEXTUALES

Inicialmente se crean los componentes de la interfaz gráfica de usuario y se muestra una pantalla de bienvenida durante unos segundos para pasar a mostrar la pantalla principal de la aplicación. Seguidamente se intentan cargar los ficheros de configuración del servidor (*Config-Servidor.ini*) y la base de datos predeterminada (*Base de datos.ini*) alojados en el directorio de la aplicación.

Si han ocurrido errores entonces se notifica al usuario de la anomalía producida, en caso contrario se crea el proceso ligero concurrente *Servidor* que realiza la escucha de un puerto TCP configurado. A partir de este momento la aplicación permanece en un estado de espera en el que se pueden producir eventos provocados por el usuario al pulsar los componentes gráficos o bien peticiones de información de los clientes.

Los eventos provocados por el usuario pueden ser:

- Iniciar el servidor de manera que se actualizan los componentes gráficos para poder detener el servidor.
- Detener el servidor adaptando los componentes gráficos a este estado de la aplicación.
- Modificar el puerto de comunicaciones empleado por lo que además de reiniciarse el servidor se debe almacenar la nueva configuración en el fichero *Config-Servidor.ini*.
- Cargar un fichero de base de datos de manera por lo que al cargarlo se requiere un reinicio siempre y cuando el servidor esté en condiciones de arrancar.
- Generar un fichero de configuración para los clientes *Acceso.ini* en un directorio escogido por el administrador del servidor.
- Borrar el contenido del listado de eventos producidos en el servidor.
- Finalizar la aplicación.

En cuanto al hilo modelado con el objeto *Servidor* se sigue el siguiente algoritmo:

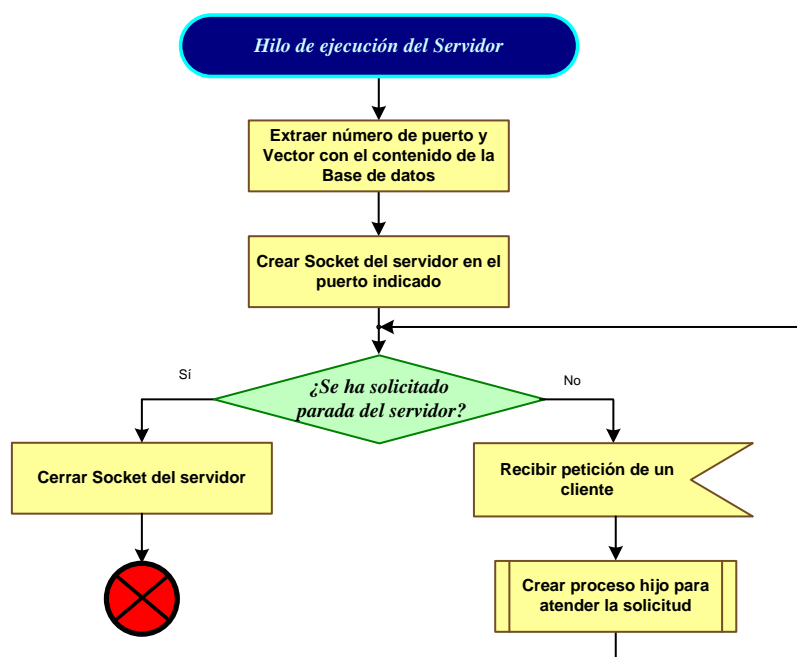


Figura 10: Hilo de ejecución del proceso Servidor

Tras conocer el número de puerto y el contenido de la base de datos se crea un objeto *Socket* que escuchará en el puerto especificado. A continuación, se permanecería en un bucle, siempre y cuando no se haya solicitado la parada del servidor, en el que el thread permanece pausado hasta que un cliente establece conexión con el servidor para solicitar el contenido de la base de datos. En ese caso se crea otro proceso ligero concurrente que atiende la petición del cliente para que el proceso *Servidor* pueda seguir atendiendo peticiones.

Si se solicitó la parada del *Servidor* desde la interfaz gráfica de usuario entonces se detiene el thread.

El diagrama de flujo perteneciente al proceso hijo utilizado para atender peticiones es el que se muestra a continuación

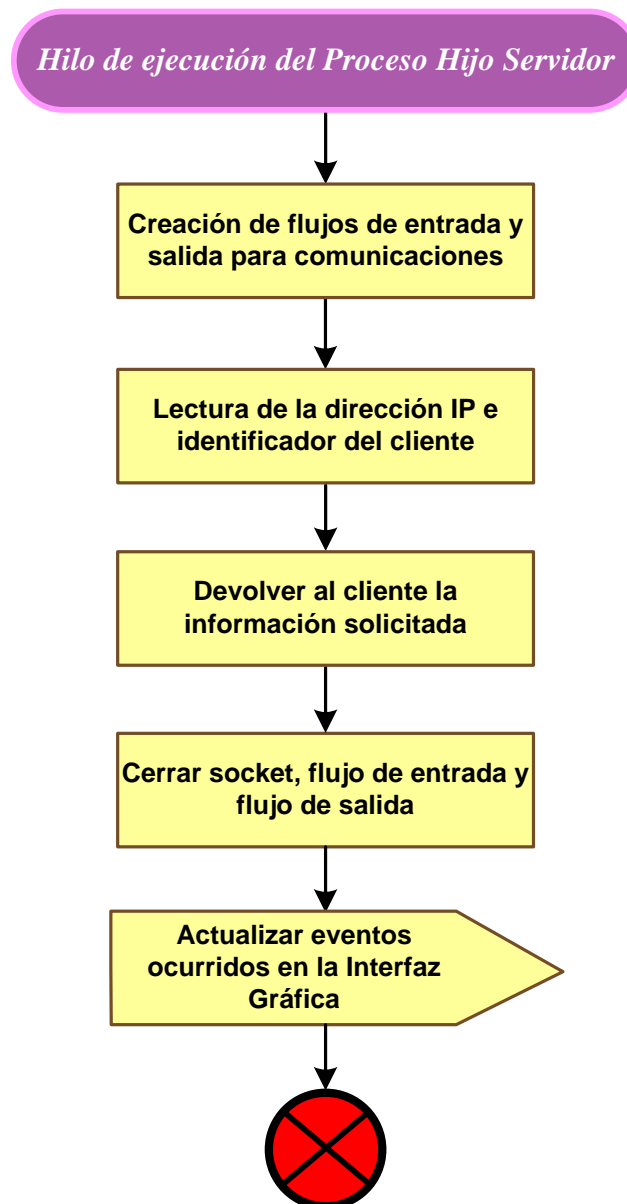


Figura 11: Hilo de ejecución del proceso hijo servidor

## 6 SERVICIO DE LOCALIZACIÓN Y DIFUSIÓN DE CONTENIDOS CONTEXTUALES

Partiendo del socket con el que se modela la conexión entre cliente y servidor se crean flujos de entrada y salida para poder enviar y recibir datos desde el socket.

A continuación, se recibe del socket la dirección IP y el identificador de cliente que realiza la petición para poder incluir ambos parámetros en la lista de eventos ocurridos en el servidor. Después se envía mediante el flujo de salida la información de la base de datos al cliente de manera que una vez que ha concluido esta acción se cierran los flujos de entrada y salida además del socket que modela la conexión ya que no se va a utilizar más.

Finalmente se actualiza la lista de eventos producidos en la interfaz gráfica de usuario y se finaliza la ejecución de este proceso ligero.

Por lo tanto, las comunicaciones entre las aplicaciones cliente y servidor son orientadas a conexión de manera que si existen errores en la transmisión de información se notificarían a los usuarios.

### 6.5 CONFIGURACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA

Una vez desarrollado el software necesario para el correcto funcionamiento del sistema pasamos a la configuración y puesta en marcha en un entorno de pruebas.

Inicialmente hay que configurar los puntos de acceso inalámbrico asignándoles los identificadores SSID para clarificar la correspondencia con las ubicaciones donde se pretenden instalar, un direccionamiento privado de clase C y además se configura la funcionalidad WDS que permite la interconexión entre puntos de acceso de forma inalámbrica. De manera opcional se configura la utilización de contraseñas WPA, filtrado MAC, etc. en función de la política de seguridad deseada.

En un siguiente paso se ubican los puntos de acceso en las estancias existentes en el escenario de trabajo comprobando que haya una distancia superior a tres metros entre puntos de acceso y que no se pierda la conectividad entre dispositivos mediante WDS.

En una máquina en concreto se instalará la aplicación de base de datos desarrollada, un servidor web debidamente configurado conformando el servidor de difusión de contenidos. Para cada elemento expuesto se creará la información web que se alojará en un directorio asignado en la configuración del servidor web. Se utilizará un direccionamiento estático preestablecido de antemano y se conectará el servidor al punto de acceso más cercano o bien mediante Ethernet o bien mediante 802.11.

Una vez configurado el servidor se deben generar los ficheros de la base de datos, configuración del servidor y ficheros de acceso a instalar en los clientes. Veamos el formato de cada fichero:

#### 6.5.1 Config-Servidor.ini

En este fichero se almacena los parámetros de configuración del servidor. En esta primera versión solo es necesario almacenar el número de puerto por lo que el formato del fichero será:

=====

[Puerto Servidor]



=====

<NÚMERO DE PUERTO>

Donde <NÚMERO DE PUERTO> debe ser un número entre 1024 y 65535.

#### 6.5.2 Base de datos.ini

Este archivo contiene toda la información sobre puntos de acceso y elementos expuestos. Para cada punto de acceso se sigue el formato indicado a continuación:

=====

[Punto De Acceso "X"]

=====

<DIRECCIÓN MAC>

<NOMBRE DE LA SALA>

<PLANTA>

-----

[Elementos AP "X"]

-----

<IDENTIFICADOR>

<NOMBRE>

<URL>

<NOMBRE DE LA SALA>

<DIRECCIÓN MAC DEL AP>

-----

<IDENTIFICADOR>

<NOMBRE>

<URL>

<NOMBRE DE LA SALA>

<DIRECCIÓN MAC DEL AP>

-----

<<Se seguiría el mismo formato hasta llegar al último elemento>>

-----

<IDENTIFICADOR>

<NOMBRE>

<URL>

## 6 SERVICIO DE LOCALIZACIÓN Y DIFUSIÓN DE CONTENIDOS CONTEXTUALES

<NOMBRE DE LA SALA>

<DIRECCIÓN MAC DEL AP>

Veamos el significado de los campos de un punto de acceso:

- <DIRECCIÓN MAC> es la dirección física del punto de acceso.
- <NOMBRE DE LA SALA> el nombre de la ubicación asociada el cual se mostrará en los clientes.
- <PLANTA> es un campo que se ha incluido para organizar la información en plantas, pabellones u otro tipo de criterio.

Referente a los elementos, separados mediante una línea de guiones (---) podemos identificar los campos:

- <IDENTIFICADOR> como un número o identificador textual que se le asigna al elemento.
- <NOMBRE> es el nombre del elemento el cual se mostrará en la lista de elementos expuestos de la aplicación cliente.
- <URL> hace referencia a la dirección de donde se puede obtener la información asociada al elemento.
- <NOMBRE DE LA SALA> es el campo en el que se indica el nombre de la sala donde se expone el elemento.
- <DIRECCIÓN MAC DEL AP> contiene la dirección MAC del AP que se ha ubicado en la sala.

Cuando se ha terminado de definir el último elemento asociado al último punto de acceso es necesario incluir una línea de caracteres "===". Así sería la definición del último elemento mencionado:

-----

<IDENTIFICADOR>

<NOMBRE>

<URL>

<NOMBRE DE LA SALA>

<DIRECCIÓN MAC DEL AP>

=====

## 6.5.3 Acceso.ini

Este último fichero se puede generar desde la aplicación servidor de la base de datos para poder instalarlo en los clientes. El resultado obtenido es el siguiente:

```
=====
```

```
[Dirección IP del Servidor]
```

```
=====
```

```
<DIRECCIÓN IP>
```

```
=====
```

```
[Puerto de acceso]
```

```
=====
```

```
<PUERTO>
```

```
=====
```

```
[Identificador de dispositivo]
```

```
=====
```

```
<IDENTIFICADOR>
```

Los campos hacen referencia a la dirección IP del servidor, el puerto de comunicaciones utilizado y el identificador del dispositivo cliente. Se puede editar a mano este fichero y modificarlo siempre y cuando se respete el formato descrito.

Siguiendo todos estos pasos la infraestructura de red y el servidor quedarían correctamente configurados y puestos en funcionamiento.

Respecto los clientes inicialmente debe establecerse la configuración necesaria del sistema operativo de las PDAs para acceder a los puntos de acceso en función de la política de seguridad configurada en los puntos de acceso.

Seguidamente se copiará la aplicación desde un PC al directorio *My Documents* de la PDA<sup>1</sup> y o bien se utilizará la máquina virtual incluida con la aplicación, o bien se instalará una máquina virtual Java de manera independiente. En este último caso hay que modificar el acceso directo a la aplicación manualmente para incluir PATH y ficheros auxiliares empleados.

Una vez instalados los ficheros al ejecutar la aplicación cliente ya se podrá consultar la ubicación exacta del dispositivo y la información asociados a los elementos expuestos que aparecen en pantalla.

---

<sup>1</sup> Si existiesen problemas para acceder a ese PATH habría que modificar el contenido del acceso directo de la aplicación definiendo otro PATH alternativo que solucione el problema. Ver manual de usuario para más información.

## 6.6 MANUAL DE USUARIO DE LA APLICACIÓN CLIENTE

La aplicación cliente se proporciona en un directorio que contiene los siguientes ficheros:

- **Aplicacion.jar**: Es el archivo que contiene las clases y recursos necesarios para el funcionamiento de la aplicación.
- **Iniciar.Ink**: Es el acceso directo que debe pulsar para iniciar la aplicación.
- **Acceso.ini**: Este archivo contiene la información necesaria para establecer una conexión con el servidor de difusión de obtenidos
- **Jvm**: Directorio que contiene una máquina virtual Java para ejecutar la aplicación.
- **Instalación**: Directorio con ficheros necesarios cuando se quiere instalar una máquina virtual independiente en el sistema para ejecutar la aplicación.

### 6.6.1 Instalación y ejecución de la aplicación

Para instalar la aplicación simplemente debe copiarse el directorio en la carpeta *My Documents* de la PDA mediante la herramienta *Active Sync* de la cual dispone su PDA. Se asume que ha configurado el dispositivo para poder establecer conexiones con los puntos de acceso existentes en el recinto.

Una vez copiados los directorios puede iniciar la aplicación haciendo clic en el acceso directo *Iniciar*. Transcurridos unos segundos aparecerá una pantalla de bienvenida y la ventana principal de la aplicación la cual se muestra en la figura 12:



Figura 12: Pantalla principal de la aplicación

En la pantalla principal se puede observar un cuadro en el que aparece el nombre de la sala donde está el dispositivo. Debajo de este componente aparece una lista con los elementos expuestos en la sala. Por último, en la parte inferior existen dos botones que permiten controlar la aplicación. La forma de los componentes depende del sistema operativo que posea la PDA. El que se muestra en pantalla es el obtenido al ejecutar la aplicación en Windows Mobile 2003.

### 6.6.2 Funcionamiento de la aplicación

Al iniciar la aplicación pasados unos segundos se mostrará en pantalla el nombre de la sala en la que está el dispositivo. Conforme el usuario cambie de estancia automáticamente se modificará el nombre de la sala y los elementos expuestos. Si el usuario pretende visualizar la información asociada a un elemento en concreto bastará con seleccionar el elemento en la lista y pulsar el botón *Ver Información*.

En la figura 13 se muestra la ventana principal de la aplicación tras realizar la selección del elemento "Bombilla":



Figura 13: Selección de un elemento

Tras pulsar el botón *Ver Información* aparecerán los componentes gráficos que le permitan visualizar la información la cual proviene del servidor de difusión de contenidos. En figura 14 que se muestra a continuación aparece el contenido relacionado con la selección hecha sobre el elemento "Bombilla":

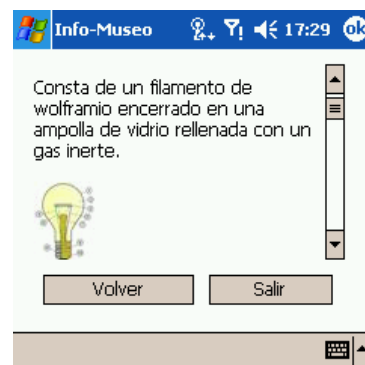


Figura 14: Visualización de la información de un elemento

Mientras se visualiza la información se interrumpirá la búsqueda de la ubicación en la que está su dispositivo. Tan pronto como termine de visualizar la información se reanudará la búsqueda. Para ello simplemente debe pulsar el botón *Volver*.

Si desea salir de la aplicación tanto estando consultando información de un elemento como la lista de elementos encontrados debe pulsar el botón *Salir*.

### 6.6.3 Problemas y soluciones

A la hora de manejar la aplicación pueden surgir determinados problemas. Se ha procurado crear un listado de errores y una serie de mensajes emergentes que alertan al usuario. En la figura 15 se muestra cómo sería uno de esos mensajes de error:

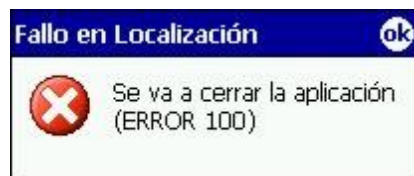


Figura 15: Mensaje de error de la aplicación

Los códigos de error que pueden aparecer en los mensajes emergentes son los siguientes:

- **ERROR 100:** Cuando se produce este error se debe a que la aplicación no ha podido acceder a la interfaz inalámbrica para la búsqueda de la posición en la que se encuentra el dispositivo donde se ejecuta. Si este error ocurre al iniciar la aplicación entonces puede existir problemas en la interfaz de red o bien problemas de compatibilidad entre la aplicación y el hardware de red.

En cambio, si el error aparece cuando la aplicación está operativa no es preocupante ya que por alguna gestión del sistema operativo la interfaz de red en un instante en concreto no ha estado accesible. Como solución hay que reiniciar la aplicación y se habrá solucionado el problema.

- **ERROR 101:** Este error hace referencia a la situación en que la aplicación no ha encontrado puntos de acceso que figuran en la base de datos. Con lo cual no es posible realizar la estimación de la localización por lo que probablemente el problema esté en la base de datos del sistema o en la aplicación que actúa como servidor de la base de datos.
- **ERROR 102:** Este otro error se produce cuando no se ha encontrado el fichero con la configuración de acceso al servidor *Acceso.ini* en el mismo directorio donde está el fichero *jar* de la aplicación. Se debe verificar la existencia del mismo llegando a instalarlo de nuevo en el caso que no esté en el directorio.
- **ERROR 103:** Si no se ha podido crear una conexión al servidor y además ni siquiera es alcanzable la dirección IP destino existente en el fichero de

configuración entonces se informaría al usuario mediante este error. Probablemente el fichero de configuración del cliente contenga información inválida. Se aconseja volver a generar el fichero desde la aplicación servidor. También pueden existir problemas de conectividad entre el cliente y el servidor por lo que se aconseja la verificación de dicha conectividad.

- **ERROR 104:** Este error consiste en que la máquina que actúa como servidor no está ejecutando su aplicación de servidor de base de datos o bien la dirección IP no corresponde a un servidor buscado sino a otro tipo de dispositivo.

### 6.6.4 Otras consideraciones

A la hora de definir el acceso directo que permite ejecutar la aplicación se debe indicar la ubicación donde se encuentra la máquina virtual que se está utilizando, el *Classpath* necesario para poder ejecutar la aplicación y otras bibliotecas utilizadas en formato *jar*.

La sintaxis del acceso directo depende de la máquina virtual utilizada. Mediante un editor de texto podemos abrir y modificar el fichero que constituye el acceso directo de la aplicación.

A continuación, se muestra cual sería un ejemplo de sintaxis para la máquina virtual J9:

```
254#\My Documents\Aplicacion\jvm\bin\j9.exe
-Xbootclasspath: \My Documents\Aplicacion\jvm\lib\classes.zip;
\My Documents\Aplicacion\jvm\lib\eswt.zip;"
-cp \My Documents\Aplicacion\jvm\lib\placelab.jar
-jar Aplicacion.jar
```

Aunque aparezca la sintaxis en varias líneas de cara al acceso directo debe figurar todo en la misma línea.

El primer número junto a la almohadilla indica el número máximo de caracteres que pueden existir en la línea de comandos introducida. El resto de paths y argumentos están relacionados con la sintaxis impuesta por la máquina virtual.

Si se pretende instalar la aplicación en otro directorio es necesario modificar el acceso directo.

Análogamente si se opta por la instalación de una máquina virtual independiente además de modificarse el contenido del acceso directo es necesario incluir en los directorios *lib* y *bin* los ficheros que se adjuntan en el directorio *Instalación*. De manera que los ficheros con extensión *dll* deben instalarse bajo el directorio *bin* y los ficheros *jar* bajo el directorio *lib*.

## 6.7 MANUAL DE USUARIO DE LA APLICACIÓN SERVIDOR

Esta aplicación se proporciona en un directorio en el que aparecen los siguientes ficheros:

- **Servidor.jar:** Es el archivo que contiene las clases y recursos necesarios para el funcionamiento de la aplicación.

## 6 SERVICIO DE LOCALIZACIÓN Y DIFUSIÓN DE CONTENIDOS CONTEXTUALES

- **Config-Servidor.ini**: Fichero que contiene los parámetros de configuración de la aplicación servidor.
- **Base de datos.ini**: Base de datos por defecto la cual contiene información sobre puntos de acceso existentes y elementos expuestos.

Veamos los pasos necesarios para su puesta en marcha.

### 6.7.1 Instalación del entorno de ejecución

Para poder ejecutar la aplicación se requiere la existencia del entorno de ejecución Java JRE (Java Runtime Environment). Este se puede obtener en la web de Sun Microsystems gratuitamente para sistemas operativos Unix y Windows.

Siguiendo los pasos del programa de instalación descargado se podrá establecer el entorno de ejecución en la máquina que actuará como servidor de difusión de contenidos.

### 6.7.2 Instalación y ejecución de la aplicación

Para instalar la aplicación simplemente debe copiarse el directorio en cualquier ubicación disponible en el sistema donde se pretende ejecutar.

En sistemas operativos Windows se puede hacer doble clic sobre el fichero *Servidor.jar* o bien crear un acceso directo a este fichero. En entornos Unix se puede crear un script para iniciar la aplicación.

En el sistema operativo Windows XP al iniciar la aplicación por primera vez aparecerá en pantalla una advertencia relacionada con el firewall que incorpora este sistema operativo como se muestra en la figura 16:



Figura 16: Alerta de seguridad del firewall de Windows

Este mensaje de alerta aparece ya que la aplicación se va a comportar como un servidor por lo que se requiere que pulse el botón Desbloquear para que el firewall de Windows permita las conexiones entrantes por el puerto designado en la aplicación.



Análogamente si dispone de otro firewall debe configurarlo para que permita las conexiones entrantes en el puerto especificado.

Una vez solventados los aspectos de configuración del firewall mencionados aparecerá la pantalla de bienvenida y la ventana de la aplicación como se puede observar en la figura 17:

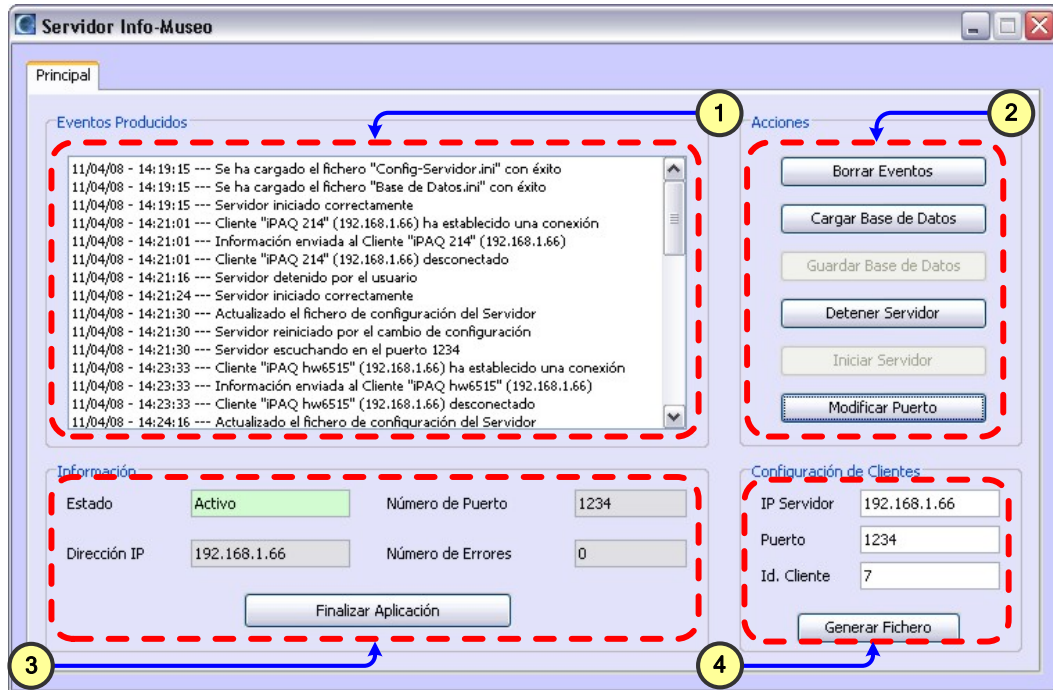


Figura 17: Pantalla principal de la aplicación Servidor

En la ventana se puede apreciar diversos paneles con funcionalidades específicas. En los siguientes apartados se explica cómo utilizar cada una de ellas.

### 6.7.3 Manejo de la lista de eventos producidos

En la figura 17 se puede identificar este panel como el número 1 el cual contiene la lista de eventos producidos en la aplicación. En esa lista para cada evento se muestra la fecha y hora a la que se ha producido y una descripción del mismo.

Mediante las barras de desplazamiento podrá consultar partes de la lista en el caso que el número de eventos registrados sea lo suficientemente grande como para que no puedan mostrarse todos simultáneamente en el panel.

Cuando un cliente accede al servidor se lista su identificador y dirección IP para tener un control de los dispositivos que han hecho uso del servidor. Por cada mensaje de error registrado en la lista se incrementará en una unidad el contador de *Número de Errores* que puede encontrar en el panel número 3. De esta forma podrá conocer inmediatamente se han dado errores o no en el sistema.

Si se desea limpiar la lista de eventos basta pulsar el botón *Borrar Eventos* situado en el panel 2. Además de limpiar la lista de eventos también se pone a cero el contador de errores registrados.

### 6.7.4 Iniciar el servidor

Si el servidor está detenido el botón *Iniciar Servidor* estará habilitado por lo que al pulsarlo se intentará iniciar el servidor. Si se consigue iniciar el servidor con éxito se registrará en la lista de eventos producidos y podrá comprobar como algunos componentes del panel informativo número 3 cambia para indicarle que el servidor está activo. Además, el botón que acaba de presionar se deshabilitará y en cambio el botón que le permite detener el servidor quedará activado. En la figura 18 aparece el panel informativo número 3 cuando se ha logrado iniciar el servidor con éxito.

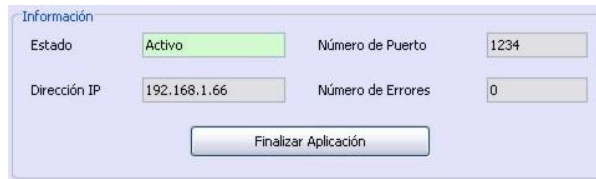


Figura 18: Panel informativo tras iniciar el servidor

Si no se puede iniciar el servidor se le informará mediante un mensaje informativo. Una de las causas principales por la que no puede iniciar el servidor es por la existencia de otra aplicación que esté utilizando el mismo puerto que tiene configurado la aplicación servidor. El mensaje mostrado en pantalla es el siguiente (figura 19):

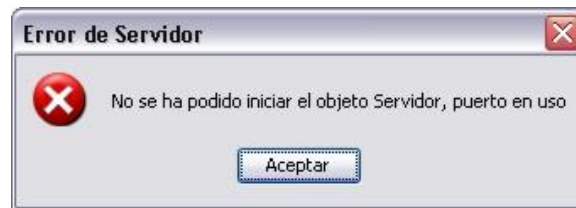


Figura 19: Error al iniciar el servidor

Para solucionar el problema se puede modificar el puerto utilizado.

### 6.7.5 Detener el servidor

Si se desea detener el servidor basta pulsar el botón *Detener Servidor* de manera que al pulsarlo se deshabilitará este botón y se habilitará el botón mencionado que le permite iniciar el servidor. Además, el panel informativo (figura 20) y la lista de eventos le informará de la inactividad del servidor.

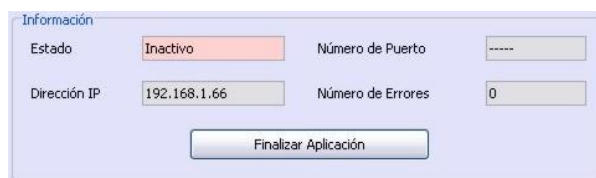


Figura 20: Panel informativo tras detener el servidor

Al detener el servidor no se podrán atender peticiones hasta que vuelva a iniciarlo, pero puede seguir utilizando la aplicación.

#### 6.7.6 Cargar una base de datos

La aplicación permite cargar otra base de datos diferente a la que se ha intentado cargar tras iniciarla. Si pulsa el botón *Cargar Base de Datos* aparecerá un cuadro de diálogo como el que se muestra en la figura 21:

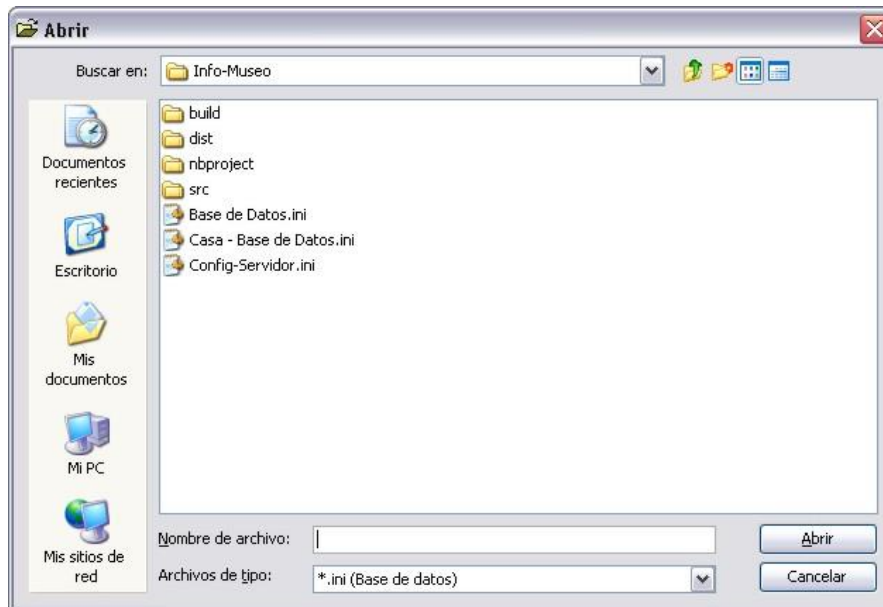


Figura 21: Cuadro de diálogo para cargar una base de datos

Esta ventana permite seleccionar el fichero con extensión *ini* que contiene la información perteneciente a una base de datos apta para la aplicación. Seleccione el fichero deseado y pulse el botón *Abrir*.

Seguidamente, tras cargar la nueva información, el servidor se reiniciará notificando las acciones producidas en la lista de eventos y además aparecerá en pantalla un mensaje emergente confirmando que la operación se ha realizado con éxito como el que se muestra en la figura 22:

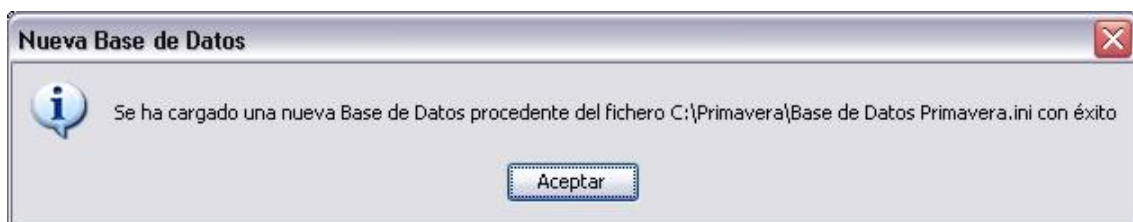


Figura 22: Mensaje informativo tras la carga de una nueva base de datos

## 6 SERVICIO DE LOCALIZACIÓN Y DIFUSIÓN DE CONTENIDOS CONTEXTUALES

Si estando en el cuadro de diálogo de selección de ficheros se decide no seleccionar ningún archivo basta pulsar el botón *Cancelar* y se cerrará el cuadro de diálogo volviendo a la ventana principal de la aplicación.

### 6.7.7 Modificar el puerto de comunicaciones

Para modificar el puerto de comunicaciones dispone de un botón alojado en el panel 2 denominado *Modificar Puerto*. Si lo pulsa aparecerá una ventana como la que se indica en la figura 23:



Figura 23: Ventana para la configuración del puerto

Estos componentes gráficos permiten seleccionar un nuevo puerto de comunicaciones entre 1024 y 65535.

Hay que introducir el número perteneciente al nuevo puerto que se desea utilizar y presionar el botón *Modificar Puerto*. Si no se introduce un puerto válido se informa mediante el mensaje de error mostrado en la figura 24.

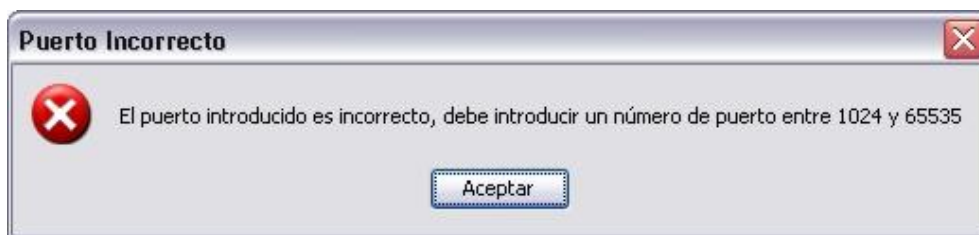


Figura 24: Mensaje de puerto incorrecto

Se puede volver a introducir de nuevo el puerto correcto y entonces pulsar el botón *Modificar Puerto*. Tras escoger el puerto se cerrará la ventana, se reiniciará el servidor escuchando en el nuevo puerto y además se almacenarán los cambios en el fichero de configuración del servidor *Conf-Servidor.ini*. De esta forma si se finaliza la aplicación y se vuelve a arrancar se puede utilizar el mismo puerto que se acaba de configurar.

Si no se desea cambiar el puerto basta presionar el botón *Cancelar*.

## 6.7.8 Generar fichero de configuración para un cliente

La aplicación le permite generar los ficheros de configuración necesarios en el arranque de los clientes. Para ello dispone de una serie de componentes gráficos ubicados en el panel número 4 de la figura 17. Cada cliente necesita conocer la dirección IP del servidor, el puerto de comunicaciones utilizado y su propio identificador.

Los dos primeros parámetros los propone la aplicación dinámicamente ya que también se modifican conforme se aplican cambios de direccionamiento o bien del número de puerto. No obstante, puede modificar estos parámetros si así lo desea. El tercer parámetro debe introducirlo y no se admite que quede en blanco.

Al menos debe existir un carácter y si intenta generar un fichero de configuración sin identificador aparecerá en pantalla un mensaje informativo como el siguiente:



Figura 25: Mensaje de error al intentar crear una configuración de un cliente sin identificador

Una vez que haya introducido todos los parámetros necesarios pule el botón *Generar Fichero* de manera que aparecerá en pantalla un cuadro de diálogo como el siguiente:

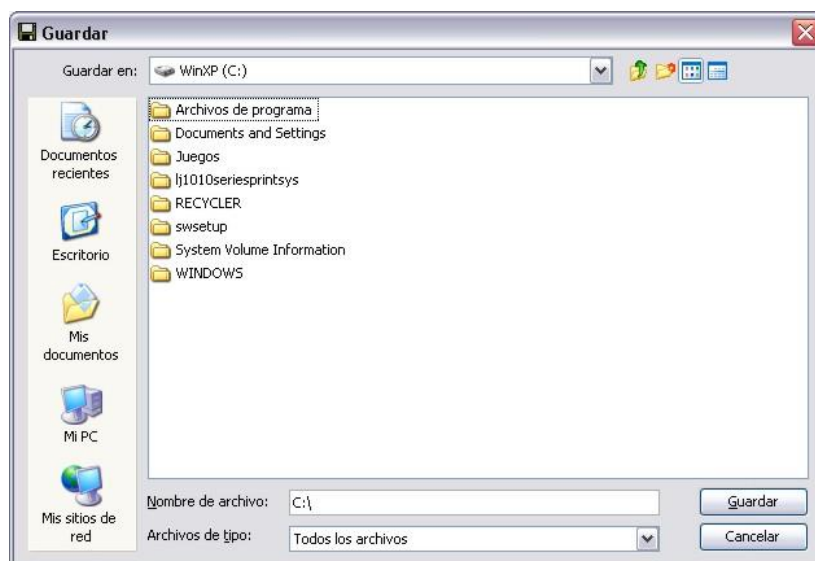


Figura 26: Cuadro de diálogo para la selección de un directorio

## 6 SERVICIO DE LOCALIZACIÓN Y DIFUSIÓN DE CONTENIDOS CONTEXTUALES

Este cuadro de diálogo le permite seleccionar el directorio donde pretende crear el fichero *Acceso.ini* que a su vez debe instalar en la PDA de un cliente. No podrá cambiar el nombre del fichero ya que la aplicación cliente está programada para aceptar únicamente este nombre de fichero.

Seleccione el directorio y pulse el botón *Guardar*. Si se ha podido grabar el fichero entonces se mostrará un mensaje informativo como el que se puede observar en la figura 27:



Figura 27: Cuadro de diálogo para la selección de un directorio

Si no quiere generar el fichero basta pulsar el botón *Cancelar*.

### 6.7.9 Salir de la aplicación

Para finalizar la aplicación o bien puede cerrar la ventana como cualquier otra ventana del sistema operativo presionando el botón con forma de aspa situado en la parte superior derecha de la aplicación o bien pulsar el botón *Finalizar Aplicación* ubicado en el panel informativo número 3 de la figura 17.

### 6.7.10 Problemas y soluciones

Los errores que pueden producirse al iniciar la aplicación tienen que ver con la ausencia de los ficheros de configuración del servidor y la base de datos predeterminada. En ambas situaciones se mostrarán los siguientes mensajes de error (figura 28)



Figura 28: Mensajes de error cuando no se puede acceder a un fichero

Si no se ha encontrado el fichero de configuración tras pulsar el botón *Aceptar* se finalizará la aplicación por lo que debe o bien generar un fichero de configuración nuevo con el nombre *Config-Servidor.ini* o bien reinstale ese fichero desde la ubicación original.

Cuando no se encuentra la base de datos por defecto la aplicación no se cerrará, el servidor estará inactivo, pero mediante el botón *Cargar Base de Datos* puede seleccionar un archivo que contenga una base de datos para que pueda iniciarse el funcionamiento del servidor. No

obstante, se aconseja incluir en el directorio donde esté el fichero *jar* de la aplicación el fichero *Base de Datos.ini* para evitar que vuelva a aparecer este mensaje de advertencia de nuevo.

Otros problemas que pueden surgir están relacionados con las comunicaciones entre los clientes y el servidor. Compruebe que tiene conectividad con el punto de acceso al que está conectado además de verificar que la red que conforman los puntos de acceso esté operativa.

# CAPÍTULO 7

## CONCLUSIONES



## 7 CONCLUSIONES

En el capítulo 1 de esta tesis hemos desarrollado el concepto de innovación y emprendimiento. La acción de emprender requiere de una serie de habilidades que son las que caracterizan a los emprendedores. Se suele confundir la figura del emprendedor con la del empresario, pero sin duda se trata de términos distintos con objetivos distintos, pero no excluyentes. La puesta en marcha de las ideas de los emprendedores se puede facilitar mediante una serie de herramientas disponibles en el mercado libres o de pago, de las cuales hemos destacado un conjunto de 6 enumerando las características más importantes de cada una de ellas. También se ha desarrollado el concepto de spin-off y finalmente se ha finalizado este capítulo describiendo el proceso de creación de la spin-off o EBT de la UPCT Ingeniatic desarrollo S.L de la que el autor de esta tesis es miembro fundador y actualmente administrador único.

En el capítulo 2 se propone y se evalúa un protocolo para la extensión de cobertura de móviles sin cobertura de la estación base o principal. Para ello se hace uso de un sistema de reenvíos apoyados en terminales cercanos, pero con parámetros de ahorro energético. El protocolo fue patentado y además tuvo gran repercusión en medios escritos y radio. El capítulo 3 recoge una implementación práctica del protocolo. Las contribuciones a las que dio lugar se enumeran a continuación:

Patente con examen previo:

Título: PROCEDIMIENTO DE ESTABLECIMIENTO DE CONEXIÓN PARA REDES INALÁMBRICAS.

Clasificación Internacional: H04W84/18 (2009.01)

Inventores: García Sánchez, D. etc.

Número de Publicación: ES2391754 A1 (29.11.2012)

Fecha de solicitud: (26.03.2010)

Fecha de la concesión:13.05.2014

Fecha de publicación de la concesión:21.05.2014

Nombre del primer solicitante: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA (100.0%)

Número de solicitud: P201030454 (26.03.2010)

2391754\_B2.pdf

2391754\_A1.pdf

Empresa explotando: Ingeniatic Desarrollo s.l

### INSCRIPCIÓN EN PROPIEDAD INTELECTUAL

Inventores: José Fernando Cerdán Cartagena, Diego García Sánchez, Juan José Alcaraz Espín, Alejandro Martínez Sala, Joan García Haro, Felipe García Sánchez, Josemaría Malgosa Sanahuja, María Dolores Cano Baños.

Título: Software para el envío de datos entre terminales móviles wifi en modo cooperativo o relay (SALTA).

N.º de solicitud: 518/2007 (realizada el 29-06-2007).

## 7 CONCLUSIONES

Acceso: [www.movilsalta.es](http://www.movilsalta.es), [www.tissat.es](http://www.tissat.es)

Empresa/s que la están explotando: Teltyc Telecomunicaciones S.L.

Licencias vendidas: 400

Importe acumulado: 1200 €

### PUBLICACIONES

Andres Cabrera-Lozoya, Fernando Cerdan, Sergio Lujan, Diego Garcia-Sanchez, "Design and Implementation of a Cooperative Protocol for Extending Coverage in Wireless Mesh Networks" IARIA, The Fourth International Conference on Advances in Mesh Networks MESH 2011 August 21-27, 2011 - Nice/Saint Laurent du Var, France, ISBN:978-1-61208-147-2 Best paper Award

Pedro López, Diego García, Sergio Almagro, Juan J. Alcaraz, Fernando Cerdan, "Development of a cooperative application for sending SMS on Wifi mobile phones", IARIA, The Second International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies, UBICOMM 2008, September 29 - October 4, Valencia, Spain ISBN 978-0-7695-3367-4

Cerdan-Cartagena, F. García-Sánchez D., Cabrera Lozoya, A. Luján-Fernández S. (2015). DESIGN AND SPECIFICATION OF A PROTOCOL TO CONNECT MOBILE TERMINALS OUT OF COVERAGE. DYNA New Technologies, 2(1). 1-10. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/NT7511>

En el capítulo 4 se desarrolla un trabajo que supera la complejidad existente en las comunicaciones inalámbricas a la hora de incluir servicios o aplicaciones cuyo tráfico tiene características muy diferenciadas, como lo que ocurre con la integración de servicios en WiMAX. En este trabajo se realizaron pruebas de tráfico multimedia a través de una red WiMAX experimental desplegada en la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT) para evaluar el rendimiento de la tecnología en términos de QoS y QoE. Los resultados, se obtienen configurando el control de tráfico de Mastershaper en un proxy de Linux antes de entregarlo al enlace Wimax. De este trabajo surgió la siguiente publicación.

Diego García, Fernando Cerdán, M.D. Cano, A. Cabrera, S. Luján, S. Almagro, "Evaluación Experimental de Tráfico IP Multimedia sobre una red Wimax". Espacio Teleco, Numero 1, pp 11-18, ISSN 2171-2042, año 2010

En el capítulo 5 se trabaja con desarrollos que sacan partido de la habilidad en el uso las nuevas tecnologías por parte de los estudiantes actuales, con fines educativos. En la primera parte se hace uso de PDAs, Smartphones como medio para facilitar la interacción e incrementar la calidad en el aprendizaje. En la segunda parte se trabaja con las competencias emprendedoras de forma transversal sobre una plataforma multidispositivo. De estos trabajos surgieron las siguientes publicaciones.

Manuel Estrems Amestoy, Tomás Sánchez Reinoso, Patricio Franco Chumillas, José Fernando Cerdán Cartagena, Diego García Sánchez, Andrés Cabrera Lozoya. "**Aplicación de instrumentos móviles con tecnología WiFi para la mejora del aprendizaje en clase**". I Jornadas Nuevas tendencias en la enseñanza de las Ciencias y las Ingenierías 2008. 17-10-2008 Murcia

Manuel Estrems Amestoy, Fernando Cerdán Cartagena, Diego García Sánchez, Horacio Tomás Sánchez Reinoso, Patricio Franco Chumillas: "Uso de PDAs y Smartphones en clase como instrumento para mejorar el seguimiento de la clase y el aprendizaje": Temática: Nuevas Fronteras en el Aprendizaje de Tecnologías de Procesado de Materiales. XVI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas (CUIEET 2008). 25-09-2008 Cádiz

M. Estrems, F. Cerdán, D. García, H.T. Sánchez, P. Franco, "The application of PDAs and Smartphones in the classroom as instruments for improvement of learning monitoring" Materials Science Forum Journal special issue on New Frontiers in Materials Processing Training and Learning. VOL 625 pp . 113-121, ISBN: 0-87849-308-5, ISBN-13 978-0-87849-308-1

Andrés Cabrera Lozoya, Fernando Cerdán, María Dolores Cano, Diego García Sánchez, Sergio Luján "Estudio del estado del arte en el campo de la innovación educativa". V jornadas de introducción a la investigación de la UPCT. Volumen 5, Edición 2012, Editorial Áglaya, ISSN 1888-8356

Manuel Estrems, Diego García, Horacio Sánchez, Patricio Franco, Fernando Cerdán "Implementación de Sistemas Innovadores de enseñanza basados en el uso de PDAs en el aula" Telecoforum V, Volumen 5, ISSN: 1698-2924 Editorial: Aglaya Fecha: 2007

Andrés Cabrera-Lozoya, Fernando Cerdan, María-Dolores Cano, Diego Garcia-Sánchez, Sergio Lujan, "Unifying heterogeneous elearning modalities in a single platform: CADI, a case study", Revista Computers & Education, ISSN: 0360-1315, January 2012, vol. 58, no. 1, pp. 617-630.

J. Suardíaz Muro, F. Cerdán Cartagena, A. Cabrera Lozoya, D. García Sánchez" MOTIVA: DEVELOPING DIGITAL ENTREPRENEURSHIP CONTENTS FOR SECONDARY SCHOOLS" 11th annual International Conference of Education, Research and Innovation Seville (Spain). 12th - 14th of November, 2018. ICERI'2018

Finalmente, en el capítulo 6 se desarrolla una aplicación de localización, con descarga de contenidos en función de la posición. La aplicación se inscribió en el registro de la PI de Murcia como sigue:

Inventores: José Fernando Cerdán Cartagena, Diego García Sánchez, Pedro López Zapata

Título: INFOMUSEO

N.º de solicitud: MU-11-2010

Empresa/s que la están explotando: TISSAT S.A.

Licencias vendidas: 1

Importe acumulado: 6960 €

Como se aprecia, la empresa Tissat adquirió una licencia que puso en práctica en el museo de Bellas Artes de Valencia.