

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS**  
**DE TELECOMUNICACIÓN**



***PROYECTO FIN DE CARRERA***  
***XXVII CONVOCATORIA PREMIOS***  
***“Ingenieros de Telecomunicación”***

**REDES DE ACCESO DE NUEVA GENERACIÓN:**  
**TECNOLOGÍAS, AGENTES Y MODELOS DE**  
**NEGOCIO**

**Autor: Víctor Louzao García**

**Tutor: D. Jorge Pérez Martínez**

Proyecto realizado con el apoyo de la Cátedra  
Telefónica Móviles España



# ÍNDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO</b>                               | <b>1</b>  |
| Punto de partida   | 1         |
| Objetivos  | 3         |
| Desarrollo   | 4         |
| Análisis y prospectiva                                       | 4         |
| Requisitos de la red de acceso                               | 5         |
| Redes de acceso de nueva generación inalámbricas: WIMAX y 3G | 5         |
| Conclusiones   | 6         |
| <b>ORIGINALIDAD DE LA TEMÁTICA ABORDADA</b>                  | <b>7</b>  |
| <b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>                                  | <b>9</b>  |
| Resultados cualitativos                                      | 9         |
| Resultados cuantitativos                                     | 10        |
| <b>APLICABILIDAD PRÁCTICA DE LOS RESULTADOS</b>              | <b>12</b> |
| Proyecto RASWER  | 13        |
| Proyecto RANGIHD   | 14        |
| <b>ANEXOS</b>  | <b>15</b> |
| Metodología  | I         |
| Financiación del Proyecto                                    | II        |

# Descripción del trabajo

En los últimos años se ha venido produciendo un fenómeno de **aceleración tecnológica** sin precedentes a todos los niveles, tanto en lo que respecta a redes y servicios de telecomunicación como en el equipamiento de usuario final. El proceso de **convergencia** entre las telecomunicaciones, las tecnologías de la información y la electrónica de consumo abre nuevos horizontes de servicios multimedia que, por otro lado, las redes de telecomunicaciones han de ser capaces de soportar.

Las demandas de servicios multimedia, funcionalidades de “**hogar inteligente**” y la cada vez más importante movilidad, hacen que los operadores de telecomunicaciones se vean en la necesidad de actualizar su red o desplegar nuevas redes adaptadas a dichos servicios si no quieren quedar relegados a meros proveedores de conectividad. El notable éxito comercial alcanzado por la telefonía móvil de segunda generación y la tecnología Wi-Fi, además de las grandes ventajas derivadas de las tecnologías sin hilos, convierten a las **soluciones de acceso inalámbricas** en las candidatas **idóneas para ofrecer los nuevos servicios de la Sociedad de la Información con plena cobertura y movilidad**.

De entre las tecnologías inalámbricas de nueva generación destacan aquellas procedentes del mundo de la telefonía móvil, agrupadas bajo el nombre de **3G**, y aquellas procedentes del mundo de la informática, basadas en la **familia de estándares IEEE 802.16 o WiMAX**. La lucha por la movilidad en los nuevos servicios convergentes está servida, y en ella aspectos relativos a la regulación, estandarización, disponibilidad de equipos, costes o funcionalidades pueden resultar determinantes a la hora de decantar la balanza en favor de una u otra tecnología.

Esta realidad constituye la base del presente Proyecto Fin de Carrera, en el que se pretenden **analizar los aspectos tecnológicos y de negocio ligados a las redes de nueva generación inalámbricas**, empleando para ello la metodología propuesta por el Grupo de Análisis y Prospectiva del Sector de las Telecomunicaciones (GAPTEL), que se recoge en forma de Anexo. Aspectos tales como el **entorno macroeconómico, la regulación y las políticas públicas** se plantean de vital importancia, pues condicionan enormemente la viabilidad de estas soluciones tecnológicas inalámbricas de acceso.

El **objetivo principal** de este proyecto es, en consecuencia, **identificar el potencial real de este tipo de redes y su viabilidad o inviabilidad económica** de cara a ofertar comercialmente nuevos servicios convergentes.

Los resultados alcanzados y las conclusiones obtenidas de este estudio servirán de base para una serie **proyectos PROFIT de investigación**, tomando parte en consorcios constituidos tanto por organismos públicos como entidades privadas, asegurando de este modo la **aplicabilidad real del estudio realizado**.

## Punto de partida

El sector de las telecomunicaciones ha sufrido una profunda revolución en los últimos años motivada por un inexorable proceso de **convergencia tanto de tecnologías como de mercados**, iniciado por la digitalización y potenciado por la liberalización y el desarrollo y popularización de la banda ancha. Como consecuencia, se ha producido la **creación y sustitución de mercados, su apertura a nuevos agentes y la aparición de nuevos modelos de negocio**.

Una de las primeras consecuencias de este escenario convergente para los operadores de telecomunicaciones ha sido el reto de adaptar sus redes para incluir en sus tradicionales ofertas de conectividad y telefonía nuevos servicios de televisión, dando lugar a ofertas integradas “**Triple Play**”, hasta ahora exclusivas de los operadores de cable. Los **contenidos** son **clave** para la **diferenciación** de la oferta, así como los **nuevos servicios de valor añadido** que pueden ofrecer múltiples nuevas funcionalidades a los usuarios finales.

La inclusión de contenidos en sus ofertas cumple con una doble misión en un mercado marcado por la fuerte competencia: hace más atractivos sus servicios de cara al cliente, al que puede **fidelizar** mediante una única factura, y permite **mantener e incrementar los ingresos**

**medios por usuario (ARPU)**. Ello permite contrarrestar la tendencia a la baja de los ingresos por telefonía fija, tanto por el **proceso de sustitución fijo-móvil** como por la creciente popularización de la **telefonía IP**, que permite realizar llamadas a través de las redes de datos, escapando su control (y tarificación) al operador de telefonía fija.

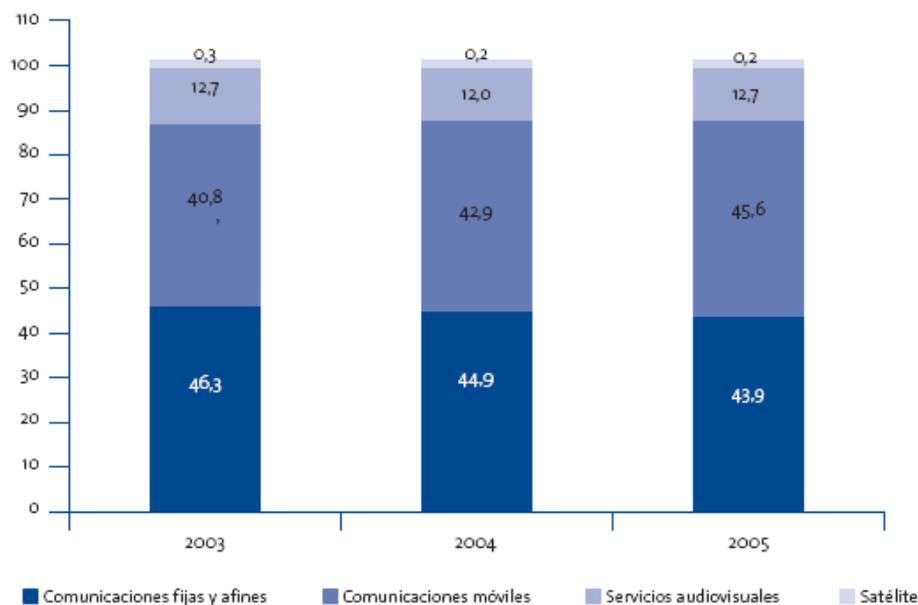


Figura 1. Ingresos por operaciones (porcentaje/total). Fuente: CMT.

La evolución actual del sector hace pensar que el siguiente paso consiste en incorporar a estas ofertas las ventajas de la **movilidad**, tradicionalmente asociada a las redes móviles, que con la evolución de los sistemas móviles y los nuevos estándares inalámbricos se han convertido en redes de datos de alta capacidad y elevadas prestaciones.

La demanda de nuevos servicios en los que los contenidos desempeñan un papel predominante y la tendencia hacia la movilidad total viene motivada, en gran medida, por la **imparable evolución de los dispositivos y terminales del usuario final**. Estos terminales han ido progresivamente reduciendo su tamaño a la vez que integran mayores funcionalidades en un mismo chip o circuito, haciendo cada vez más estrecha la separación entre los terminales procedentes del mundo de la informática y los procedentes del mundo de la telefonía móvil:

Desde el punto de vista de los usuarios el escenario es muy distinto si se trata de **usuarios empresariales** o de usuarios residenciales, esto es, del gran público. Mientras que los primeros requieren una **solución integral** a sus necesidades de tráfico de datos, telefonía fija y móvil, primando aspectos como la seguridad y la disponibilidad del servicio, los **usuarios residenciales** buscan ofertas que combinen telefonía y conectividad con aspectos relacionados con el **ocio**, lo que explica la introducción de TV en las ofertas de los operadores, dando lugar a las denominadas ofertas integradas “*Triple Play*”.

El modo de afrontar estas necesidades dependerá en gran medida de la naturaleza del operador. En el mercado español de las telecomunicaciones se distinguen dos grandes grupos de operadores con ciertas características comunes en cuanto a movilidad: los operadores fijos, que se han caracterizado por ofertar típicamente servicios de telefonía fija y conectividad de banda ancha, y los operadores móviles, que iniciaron su andadura ofreciendo únicamente telefonía móvil y que, con la evolución de los sistemas móviles, han extendido su oferta al mundo de los datos en movilidad. Estos operadores, a su vez, pueden clasificarse en aquellos que disponen de red propia y aquellos que utilizan redes de terceros para la prestación de servicios.

El punto de partida de unos y otros ante este escenario convergente es muy distinto: los **operadores fijos** afrontan el **reto de la movilidad** desde su infraestructura cableada, mientras que los **operadores móviles** se ven condicionados por su limitado espectro a la hora de ofertar **nuevos servicios** como la televisión, muy **exigentes en cuanto a ancho de banda**. Es en este punto donde la **regulación juega un papel fundamental**, permitiendo tanto el acceso a las redes fijas (xDSL, con la Oferta de Acceso al Bucle de Abonado u OBA) como a las redes móviles, mediante la figura del operador móvil virtual u OMV.

## Objetivos

Este PFC surge como **respuesta a los últimos avances tecnológicos en lo que respecta a redes de acceso inalámbricas de nueva generación**, siendo sus mayores exponentes la telefonía móvil de tercera generación o **3G** y las redes **WiMAX**, nacidas bajo el amparo del IEEE y que proceden del mundo de las Tecnologías de la Información (TI). Este vertiginoso avance de la tecnología puede **impactar significativamente en los modelos de negocio de operadores ya establecidos**, que han de optar entre adoptar un postura proactiva, tratando de aprovechar las **oportunidades** derivadas, o bien una actitud más defensiva ante lo que consideran una **amenaza** para su negocio, ya sea por parte de otros operadores o de nuevos entrantes.

Los objetivos planteados en su realización pasan por un exhaustivo **análisis y prospectiva del sector**, centrado en los requisitos y funcionalidades de la red para satisfacer las necesidades de nuevos **servicios convergentes “todo IP” con movilidad** o, al menos, nomadismo, dada la tendencia clara del mercado hacia los **operadores integrados fijo-móvil**. Fruto de esta realidad se prestará una especial atención a las redes de acceso sin hilos de nueva generación, que surgen como respuesta a las necesidades de movilidad de los usuarios y que plantean **nuevos retos** a los operadores de telecomunicaciones.

Tras este proceso inicial se pretende **anticipar los posibles movimientos estratégicos** de operadores de distinta naturaleza, a través del planteamiento de los **modelos de negocio** asociados a este tipo de redes en un escenario de operador integrado fijo-móvil. En este escenario la **tecnología** resulta **transparente al usuario final** y se tiende hacia soluciones “todo IP” en las que todo es **multimedia, multiacceso y ubicuo**, empleando la **red óptima en cada momento**, concepto que ha venido a denominarse “Always Best Connected” o ABC.

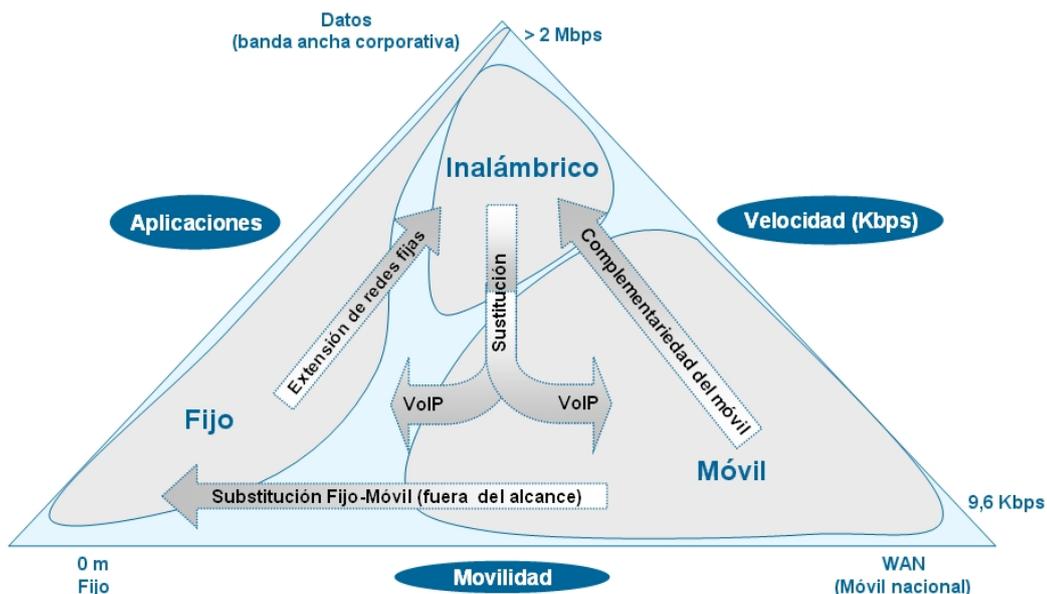


Figura 2. Movimientos estratégicos de los distintos operadores. Fuente: A.T. Kearney.

Un aspecto fundamental a la hora de plantearse la realización de proyecto es la **aplicabilidad práctica** de los resultados obtenidos, que pasa en un primer momento por el empleo de las nuevas opciones tecnológicas inalámbricas para **dar respuesta a las necesidades de servicios de la Sociedad de la Información en aquellas zonas actualmente sin cobertura**. Las grandes ventajas de las tecnologías de acceso sin hilos, que permiten cubrir la denominada “*última milla*” de manera eficiente y a costes razonables, se plantean como una **solución** al problema de la denominada “**brecha digital**”.

En consecuencia, los resultados de esta labor investigadora servirán de base para **dos proyectos PROFIT de I+D+i**, en los que tomé parte desde el Grupo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de la Universidad Politécnica de Madrid, y realizados en **consorcio con destacadas empresas del sector**, posicionadas en **los distintos segmentos de la cadena de valor**: fabricantes de equipamiento, laboratorios de certificación u operadores con red propia.

El primero de estos proyectos, denominado **RASWER** – Redes de Acceso Satélite-WiMAX para entornos rurales, se centra en la utilización de las **redes de acceso inalámbricas de nueva generación como complemento al satélite en zonas actualmente sin cobertura**.

El segundo de ellos, denominado **RANGIHD** – Redes de Acceso de Nueva Generación Inalámbricas y Hogar Digital, está orientado a su utilización en combinación con otras redes para **implementar una arquitectura escalable, flexible, que permita ofrecer servicios integrados de voz, vídeo y datos (“Triple Play”)** en aquellas zonas del territorio nacional sin cobertura de tecnologías alternativas. Asimismo, se dedicará una importante labor investigadora a la **distribución doméstica de dichos servicios**, primando la reutilización del cableado ya existente para la **implementación de un auténtico hogar digital**.

## Desarrollo

El documento está estructurado en tres grandes bloques, siguiendo la metodología propuesta (ver Anexo): un primer bloque de análisis y prospectiva del sector, un segundo bloque en el que se detallan los requisitos necesarios en la red de acceso para la oferta de nuevos servicios multimedia convergentes y un tercer y último bloque centrado en la tercera generación de sistemas móviles o 3G y las redes de acceso WiMAX, planteando escenarios reales de despliegue en España por parte de operadores heterogéneos y comprobando su viabilidad real mediante su correspondiente modelo de negocio.

### Análisis y prospectiva

En primer lugar se realiza una labor de análisis y prospectiva del sector, tanto desde el punto de vista del **mercado** (agentes, regulación, oferta comercial, demanda de servicios, entre otros) como desde el punto de vista de la **tecnología**. Por tanto, se estudiarán las tecnologías de redes de acceso ya desplegadas, así como las tecnologías de nueva generación y su previsible evolución, prestando especial atención a los agentes involucrados y a las funcionalidades y limitaciones de sus redes.

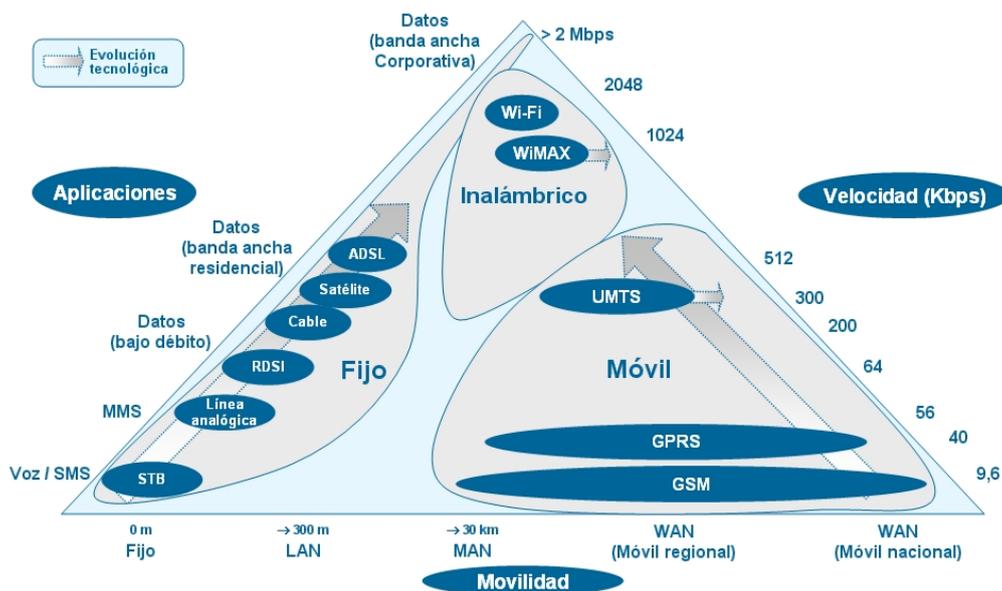


Figura 3. Evolución tecnológica: aplicaciones, velocidad y movilidad. Fuente: A.T. Kearney.

Ante la creciente importancia de las soluciones de **“hogar digital”** y su relevancia como **elemento diferencial** de la oferta de los distintos operadores, se incluye también en este bloque un estudio de las posibilidades tecnológicas en lo referente a redes de usuario, encargadas de la interconexión de los distintos dispositivos del hogar y que permiten extender a todos ellos los nuevos servicios de la Sociedad de la Información.

## Requisitos de la red de acceso

En función de este análisis previo se definirán en el segundo bloque los **requisitos de las redes de acceso** analizadas más relevantes, desde el punto de vista de la oferta de servicios convergentes “*Triple Play*” en los que se incluye conectividad de banda ancha, telefonía y televisión, tanto en difusión como a la carta.

A estos servicios actualmente ofertados hay que sumar las necesidades de **servicios futuros**, algunos de los cuales requieren un ancho de banda elevado, como puede ser el caso de la televisión de Alta Definición o **HDTV**.

## Redes de acceso de nueva generación inalámbricas: WiMAX y 3G

El tercer y último bloque corresponde a un **análisis comparativo de las tecnologías inalámbricas 3G y WiMAX**, las dos principales candidatas a cubrir las necesidades de movilidad en la “*última milla*” del acceso al usuario. Asimismo, se plantea un escenario de competencia entre ambas tecnologías, concluyendo el **grado de rivalidad, amenaza o complementariedad existente entre ellas**.

Una vez analizados los requisitos necesarios para ofrecer los nuevos servicios convergentes, y las funcionalidades de las nuevas redes de acceso sin hilos, se plantean distintos escenarios posibles de despliegue de redes de acceso de nueva generación inalámbricas en España, estudiando su viabilidad económica a través del correspondiente **modelo de negocio**. Dicho modelo de negocio condicionará en gran medida el despliegue de infraestructuras y la oferta de nuevos servicios, si bien en último término tal decisión estará sujeta a la estrategia y objetivos marcados por el operador.

Con el objetivo de definir un **escenario de despliegue realista** en el que las redes de acceso de nueva generación inalámbricas, a pesar de sus ventajas en cuanto a eficiencia y costes, han de **competir con otras soluciones tecnológicas ya desplegadas** y con una amplia base de clientes. Considerando la disponibilidad comercial y la madurez de los estándares, las opciones a día de hoy se reducen a dos: la tercera generación de sistemas móviles (3G) y WiMAX en su variante de acceso fijo, recogida en el estándar IEEE 802.16-2004, más madura y con menor incertidumbre regulatoria que su variante de acceso móvil IEEE 802.16e-2005.

Los escenarios considerados de despliegue de red WiMAX (IEEE 802.16-2004) y UMTS/HSDPA parten de dos realidades muy diferentes entre sí: por un lado se trata de un operador inalámbrico fijo con licencia LMDS en la banda de 3,5 GHz y por otro de un operador móvil con red GSM/GPRS ya desplegada y licencia de tercera generación. Pese a su origen en el mundo fijo y móvil, ambos tienen en común que buscan sacar partido de las mayores funcionalidades de las nuevas tecnologías inalámbricas de cara a ofrecer servicios multimedia de banda ancha.

## Conclusiones

En las últimas fechas venimos asistiendo a un proceso de **aceleración tecnológica** sin precedentes: cada vez son más las tecnologías que luchan por su lugar en el panorama mundial de las telecomunicaciones, con especial énfasis en el segmento de acceso, pues de su cobertura y capilaridad depende llegar al usuario final. Paralelamente se está produciendo una **convergencia entre la industria de las telecomunicaciones, la informática y la electrónica de consumo**, siendo cada vez más abundantes los dispositivos que integran en un único *chip* o en una única placa múltiples tecnologías.

En este escenario corresponde a los operadores de telecomunicaciones ofrecer todo aquello que demandan los usuarios (servicios multimedia, "*hogar inteligente*", movilidad,...) con independencia de la o las tecnologías empleadas para ello. Es el concepto de "*Always Best Connected*", caracterizado por la continuidad del servicio a través de múltiples redes, con las ventajas de amplia cobertura y, a ser posible, movilidad.

Las demandas de movilidad asociadas a la conectividad y a los nuevos servicios multimedia de la Sociedad de la Información son las grandes asignaturas pendientes de los operadores tradicionales de telecomunicaciones, centrados en el mundo de los datos fijos y únicamente en la voz en movilidad. Por todo ello, **las nuevas tecnologías inalámbricas de acceso se perfilan como las candidatas idóneas para complementar las redes ya existentes con movilidad o bien adaptar redes inalámbricas ya desplegadas a las nuevas funcionalidades y mayores capacidades requeridas por los más recientes servicios multimedia.**

Las limitaciones de cobertura de las redes ya desplegadas, típicamente cable o xDSL se ven acuciadas por las mayores necesidades de ancho de banda de los nuevos servicios de vídeo, dejando importantes **nichos de mercado sin cobertura de banda ancha** y extendiendo el fenómeno de "*brecha digital*". Estas zonas presentan claras **oportunidades de negocio** a operadores que saquen partido de las últimas tecnologías inalámbricas a la hora de implementar una red de acceso de bajo coste y amplias funcionalidades, adaptable a las necesidades de cada región concreta. En esta realidad los agentes mejor posicionados son los **operadores LMDS con licencia en 3,5 GHz y los operadores móviles**, a través de la tecnología **WiMAX** o bien la **tercera generación de sistemas móviles y sus evoluciones.**

**La tecnología WiMAX IEEE 802.16-2004 y la 3G no han de considerarse rivales sino complementarias**, pues aunque busquen cubrir demandas no satisfechas de acceso de banda ancha, la aproximación hacia dicho objetivo es muy distinta: las primeras redes proceden del mundo fijo y disponen de mayores capacidades a costa de coberturas puntuales, mientras que las segundas proceden del mundo móvil y gozan de amplia cobertura con la contrapartida de mayores limitaciones en cuanto a la capacidad de la red.

El futuro de las telecomunicaciones pasa por soluciones que combinen múltiples redes de forma transparente para el usuario final, tanto fijas como móviles, lo que hace que las tecnologías inalámbricas WiMAX y 3G sean las candidatas idóneas para complementarse e integrar ofertas conjuntas "*Triple Play*" móvil y fijo sin hilos, empleando en cada momento la red más adecuada.

Por último, la tendencia a la baja de los ingresos por conectividad en el segmento residencial así como el fuerte incremento de la competencia en aquellas zonas con cobertura de varias soluciones tecnológicas, han supuesto la cada vez mayor importancia de nuevos servicios destinados a conseguir el crecimiento y mantenimiento de los ingresos medios por usuario. Una primera etapa fue la incorporación de contenidos en las ofertas "*Triple Play*", que hoy en día ya no suponen un elemento diferencial de la oferta salvo que cuenten con contenidos en exclusiva, típicamente reservados a operadores de televisión de pago. Frente a ello surgen múltiples nuevas posibilidades de **servicios que den un valor diferencial a la oferta y fidelicen al cliente**, como la seguridad o la automatización en el hogar, que no son más que un par de ejemplos de las grandes ventajas asociadas al llamado "*hogar inteligente*", muchas de las cuales aún están por explorar.

# Originalidad de la temática abordada

Este proyecto fin de carrera parte de una situación completamente nueva en la historia de las telecomunicaciones: operadores de muy distinta índole (incumbentes, operadores de cable, operadores móviles, operadores sin red propia) luchan por hacerse un hueco en un **escenario de convergencia fijo-móvil** y de máxima competitividad, no sólo en lo que respecta a servicios ofertados a los usuarios finales sino también en cuanto a opciones tecnológicas disponibles para la red de acceso.

Para encontrar el origen de esta situación actual hay que remontarse a la digitalización, que desencadenó un proceso de convergencia que ha transformado profundamente el panorama competitivo de las telecomunicaciones, generando **nuevas oportunidades de negocio** asociadas a los servicios convergentes que, no obstante, son abordables desde sectores tradicionalmente separados. Este fenómeno, unido a la imparable evolución tecnológica, ha hecho que a día de hoy sean numerosas las opciones tecnológicas disponibles orientadas a ofrecer aquellos servicios más demandados en la actualidad, que pasan por las **ofertas integradas** de telefonía, conectividad de banda ancha y televisión (ofertas "Triple Play") **con la ventaja añadida de la movilidad**.

El principal exponente de esta convergencia son las comunicaciones en movilidad, tradicionalmente ligadas a los operadores de telecomunicaciones y al mundo de la conmutación de circuitos, que han visto como tecnologías procedentes del mundo de la informática se erigían como serios rivales en la lucha por la movilidad, partiendo de las grandes ventajas asociadas al mundo de la conmutación de paquetes IP y a las economías de escala características del mundo TI.

A diferencia de la tecnología Wi-Fi, cuyo gran éxito comercial no ha supuesto un impacto significativo en las redes de telecomunicaciones ya desplegadas al no permitir calidad de servicio (y, en consecuencia, un despliegue con esquemas de operador), la más novedosa tecnología WiMAX, también procedente de la poderosa industria informática norteamericana y concebida como red de acceso inalámbrica (WMAN), se plantea como un serio rival tecnológico a la hora de ofertar servicios multimedia en movilidad.

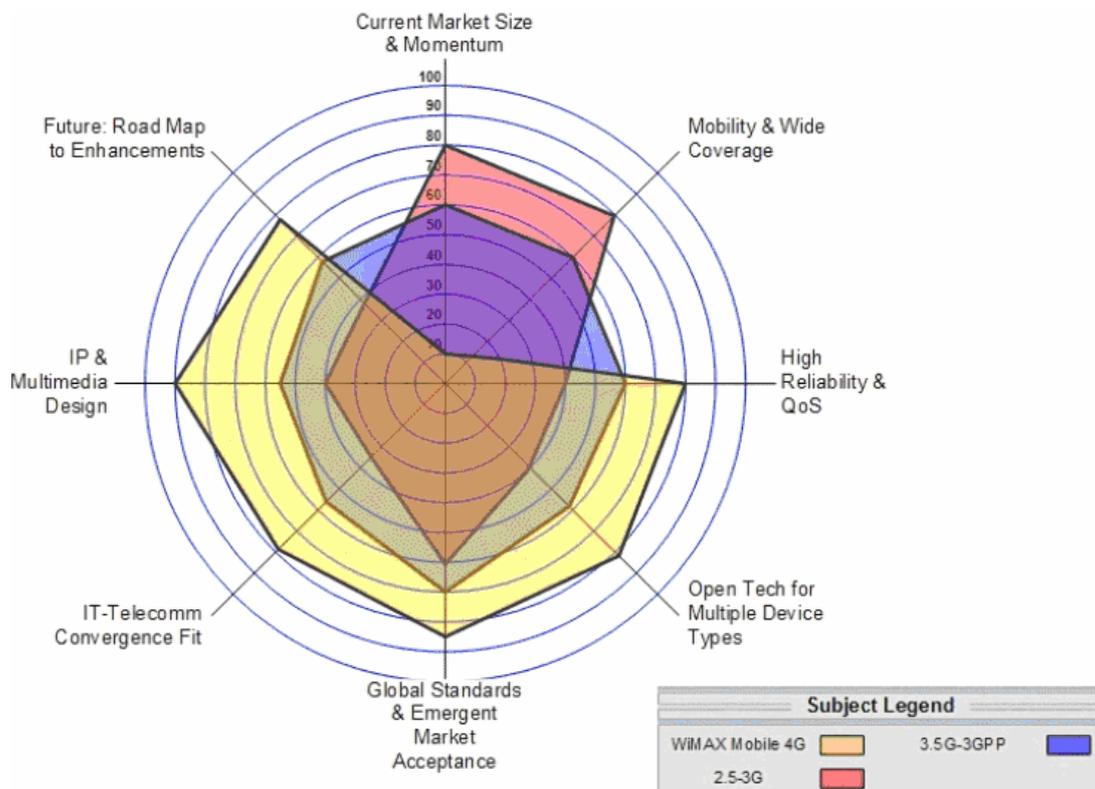


Figura 4. Evolución banda ancha inalámbrica. Fuente: Maravedis.

En consecuencia, los operadores de telecomunicaciones se encuentran en la encrucijada de decidir acerca de la **actualización de sus redes ya desplegadas** (típicamente xDSL o cable) o bien **complementar su red** con otro tipo de tecnologías que permitan **ofrecer nuevos servicios de valor añadido para el usuario final**.

Este proyecto busca **anticiparse a esta decisión estratégica** que tarde o temprano todo operador habrá de tomar, **analizando aquellas tecnologías emergentes con mayores perspectivas de futuro en el campo de las comunicaciones en movilidad** y planteando la viabilidad de distintos escenarios de despliegue a través de sus correspondientes **modelos de negocio**.

# Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos en la labor investigadora ligada al proyecto tienen una **componente cualitativa y una componente cuantitativa**. La primera de ellas es una aproximación teórica a las funcionalidades y grado de complementariedad o rivalidad existente entre las diferentes tecnologías de redes de acceso inalámbricas de nueva generación, mientras que la segunda aproximación define un modelo de negocio por cada escenario planteado, de tal forma que se verifica o no la viabilidad económica de la propuesta de despliegue planteada.

## Resultados cualitativos

La componente cualitativa del resultado del proyecto es aquella ligada a la **estrategia a seguir** por parte de los distintos operadores respecto a las redes de acceso inalámbricas de nueva generación, con el objetivo de **ofertar nuevos servicios multimedia convergentes con plena movilidad**. Esta estrategia se verá condicionada por aspectos tales como la regulación, madurez de la tecnología, estandarización, funcionalidades y, en gran medida, de la naturaleza del operador, ya que el punto de partida es muy distinto si se trata de un operador fijo, móvil o de un nuevo entrante sin red propia.

A priori, estas tecnologías se postulan como el complemento ideal de las redes fijas para añadir una cierta movilidad a su oferta, respondiendo de este modo a la progresiva sustitución fijo-móvil en el tráfico de voz y a la reducción de los ingresos medios por usuario (ARPU), reducción cada vez más patente en los operadores fijos que se han visto relegados a meros proveedores de conectividad.

Los operadores móviles, por su parte, pueden ver estas nuevas redes inalámbricas como un complemento a sus redes, típicamente de capacidad reducida, con el que ofrecer servicios más exigentes en cuanto a ancho de banda, compitiendo así directamente con las ofertas de los operadores fijos tanto en el segmento residencial como en el empresarial.

Una última opción es que los nuevos estándares inalámbricos, en especial WiMAX, animen a operadores sin infraestructura a desplegar redes de acceso alternativas a las de los operadores ya establecidos, típicamente operadores de cable o xDSL. En este escenario las opciones tecnológicas inalámbricas podrían llevar a cabo un proceso de sustitución de las redes fijas y móviles, ofreciendo servicios como la voz sobre IP, y todo ello a través de redes de bajo coste, escalables, flexibles y con la ventaja del nomadismo e, incluso, de la movilidad.

Si se realiza un análisis desde el punto de vista meramente tecnológico, se comprueba que el estándar 802.16-2004 está destinado a redes de área metropolitana inalámbricas (WMAN) y a un acceso fijo o nómada, bien como complemento a redes fijas ya existentes o bien como red de acceso que asegure cobertura en aquellas zonas donde las infraestructuras cableadas no llegan. En cambio, la 3G parte de la movilidad y la amplia cobertura como factor esencial, estableciendo redes de área extensa inalámbricas (WWAN) sobre las que implementar nuevos servicios “*Triple Play*” plenamente móviles.

Es por ello que **ambas tecnologías no pueden considerarse rivales sino complementarias**, dado que proceden de realidades diferentes y con necesidades muy distintas, si bien ambas parten del **mismo objetivo de satisfacer necesidades de servicios no cubiertas, WiMAX desde una aproximación fija o nómada y la 3G desde la plena movilidad**.

La combinación de las redes 3G y las redes 802.16-2004 puede ser especialmente relevante en el segmento empresarial, en el que el mayor coste de los servicios de telecomunicaciones es el asociado a la telefonía móvil. Por tanto, una oferta integrada de telefonía móvil y datos se plantea como la gran baza con la que cuentan los operadores móviles en su objetivo de captar a los clientes corporativos, ya no sólo en lo referente a la telefonía móvil sino también en lo relativo a la conectividad de banda ancha típicamente suministrada por operadores fijos.

**A medio y largo plazo la situación es muy distinta**. La disponibilidad comercial de equipos **WiMAX en su versión móvil (802.16e-2005)** puede suponer un impacto directo en las redes 3G, debido a su **mayor capacidad y eficiencia con las características de movilidad y roaming** de

las que adolece el estándar 802.16-2004. Pese a ello, el tiempo juega en su contra, dado que para entonces los operadores móviles, de creer en la amenaza de 802.16e-2005, habrán tenido tiempo más que suficiente para complementar sus redes con nuevos estándares B3G (*Beyond 3G*) o 4G que emulen las grandes ventajas de eficiencia y capacidad características de la tecnología 802.16e-2005.

Asimismo, el estándar **802.16e-2005** cuenta con el hándicap adicional de **competir con redes ya desplegadas y de amplia cobertura**, con tasas de penetración en continuo aumento a escala mundial. Además, para cuando los dispositivos 802.16e-2005 estén presentes en el mercado (se estima que para el año 2008 ó 2009) ya habrá en el mercado multitud de equipos adaptados a las redes 3G o sus evoluciones.

Un último elemento que puede decantar la balanza en favor de las tecnologías móviles tradicionales (entendiendo como tales la 3G y sus evoluciones) es la **situación regulatoria**. En contraposición a las licencias UMTS ya otorgadas y que aseguran plena movilidad, aún no está demasiado clara la actitud de los reguladores hacia las nuevas tecnologías de banda ancha inalámbrica, dado que las licencias otorgadas hasta la fecha limitaban su uso a aplicaciones nómadas, sin los beneficios asociados a la movilidad.

Por todo ello, **el escenario futuro más probable para ambas tecnologías pasa por la evolución hacia un estándar común**, que saque el máximo partido de los últimos avances tecnológicos de ambas líneas de investigación:

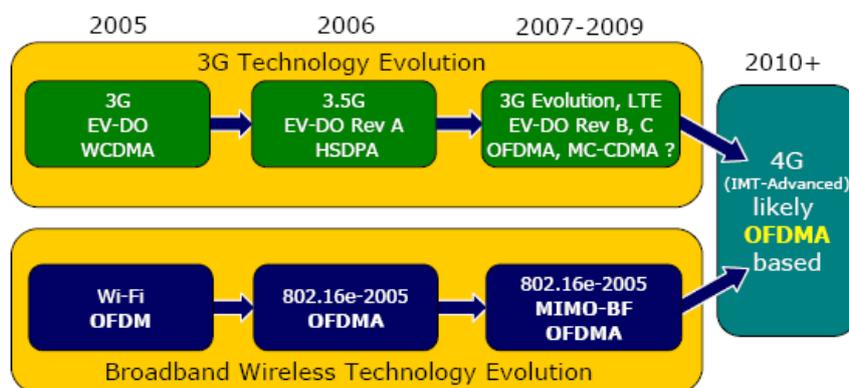


Figura 5. Evolución de las tecnologías móviles. Fuente: Rysavy Research.

En conclusión, podría resumirse lo anterior en que la **3G y WiMAX no constituyen tecnologías rivales sino complementarias**. El futuro de las telecomunicaciones pasa por soluciones que combinen múltiples redes de forma transparente para el usuario final, tanto fijas como móviles, tal y como recogen los conceptos “*Always Best Connected*” y “*Fixed Mobile Convergence*”. En consecuencia, ambas tecnologías son las candidatas idóneas para **complementarse e integrar ofertas conjuntas “Triple Play” móvil y fijo sin hilos, empleando en cada momento la red más adecuada**.

Las características de movilidad asociadas a las redes 3G y las mayores capacidades de las redes WiMAX pueden explotar todo su potencial a través de terminales duales que se conecten a la red óptima en cada momento, tanto desde el punto de vista de cobertura como de eficiencia, prestaciones y coste. Sólo a través de la combinación de tecnologías pueden ofrecerse verdaderos servicios multimedia “*de cualquier tipo, en cualquier lugar y en cualquier momento*”.

## Resultados cuantitativos

Los resultados cuantitativos del proyecto son los derivados de la simulación del **modelo de negocio asociado al despliegue de red WiMAX o 3G**.

El escenario WiMAX (IEEE802.16-2004) propuesto corresponde a un caso típico de operador inalámbrico con licencia LMDS y que, dado el coste de los equipos y la saturación del mercado de banda ancha, no ha sido capaz de encontrar un modelo de negocio que justifique el despliegue de red a gran escala. Tal situación puede verse superada por las nuevas posibilidades del estándar WiMAX de banda ancha inalámbrica fija (FWA), superior técnicamente y con previsible economías de escala en la banda de 3,5 GHz.

El segundo escenario corresponde a un operador de telefonía móvil con red GSM/GPRS ya desplegada y con licencia de tercera generación, que realiza un despliegue UMTS con HSDPA. A diferencia del escenario anterior, se trata de un operador que ya dispone de una red con amplia cobertura, si bien las inversiones para la actualización de la red a la 3G son cuantiosas ante la necesidad de nuevo equipamiento y un mayor número de estaciones base, al propagarse peor las ondas en las frecuencias típicas de la 3G.

En ambos escenarios se han definido cuatro zonas tipo, según su extensión y densidad de población típicas, siendo los valores obtenidos del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) los siguientes:

| Tipo de zona      | Operador WiMAX |       | Operador 3G   |       |
|-------------------|----------------|-------|---------------|-------|
|                   | VAN            | TIR   | VAN           | TIR   |
| Zona urbana densa | 6.738.259 €    | 25,4% | 130.822.962 € | 65,5% |
| Zona urbana       | -1.585.773 €   | 2,5%  | 24.531.177 €  | 58,7% |
| Zona extraurbana  | -2.374.568 €   | ---   | 6.318.001 €   | 60,8% |
| Zona rural        | -3.255.676 €   | ---   | -27.006 €     | 11,0% |

Tabla 1. Comparativa de resultados de modelos de negocio de operador WiMAX y 3G.

Como se observa de los **modelos de negocio**, las dificultades **de despliegue de la red WiMAX** son muy superiores pues se trata de un acceso fijo inalámbrico (FWA) que compite directamente con otras tecnologías a la hora de proporcionar conectividad de banda ancha. En consecuencia, se trata de un modelo de negocio de **operador de nicho que da servicio en zonas sin cobertura de otras tecnologías (zonas extraurbanas o rurales)**, siempre y cuando el número de usuarios a los que dar servicio justifique las inversiones asociadas al despliegue de red. En estas zonas podría plantearse incluso la opción de dar servicio a través de la banda de 5 GHz, que no requiere licencia, así como la obtención de subvenciones enmarcadas en los programas de extensión de la banda ancha puestos en marcha por el gobierno.

En cambio, el operador móvil ya parte de una amplia base de usuarios GSM/GPRS a los que ofrecer nuevos servicios de tercera generación, de mayores capacidades y posibilidades multimedia. Asimismo, puede también ofertar servicios de banda ancha fija a través de las redes 3G a desplegar, también en un entorno de fuerte competencia en zonas con cobertura de otras tecnologías y mayores expectativas de captura de usuarios en zonas actualmente sin servicio.

**Los usuarios móviles son los que garantizan la rentabilidad del despliegue de la 3G**, pues constituyen la más importante fuente de ingresos del operador y que se ve complementada por los más **reducidos ingresos** de aquellos usuarios únicamente de **conectividad de banda ancha fija**. Es por ello que la nueva red 3G ha de plantearse como una red móvil, con cobertura en todo el territorio nacional (a diferencia del operador WiMAX) en la que aquellas zonas más rentables compensan la menor rentabilidad de las zonas más despobladas, ofreciendo simultáneamente nuevos servicios de banda ancha fija a los usuarios de la red.

# Aplicabilidad práctica de los resultados

Durante el proceso de elaboración del presente estudio se observó la **viabilidad económica de un despliegue de red WiMAX en zonas actualmente sin cobertura de banda ancha**, lo que resultó en la presentación de **dos solicitudes de proyectos PROFIT de I+D+i** al Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. Ambos proyectos partían de dos realidades muy distintas: WiMAX en bandas de uso común en 5 GHz como solución para extender la cobertura del satélite en zonas rurales y WiMAX en banda licenciada en 3,5 GHz como tecnología de acceso al usuario, que se vería complementada con una distribución en el hogar y en el edificio a través de de la red eléctrica, empleando para ello la tecnología PLC (*Power Line Communications*).

Estos dos proyectos **generados a raíz de la labor de investigación realizada** nacen con el objetivo común de **ofrecer servicios multimedia convergentes en zonas actualmente sin cobertura de banda ancha**, contribuyendo de este modo a acercar las grandes ventajas de la Sociedad de la Información a todos los ciudadanos y a reducir la problemática asociada al fenómeno de “brecha digital”. Esta aproximación desde las redes de acceso WiMAX aprovecha sus grandes ventajas en cuanto a coste (suponiendo que se llegue a alcanzar economías de escala) y eficiencia para cubrir la “última milla”, típicamente el tramo más costoso de la red de acceso:

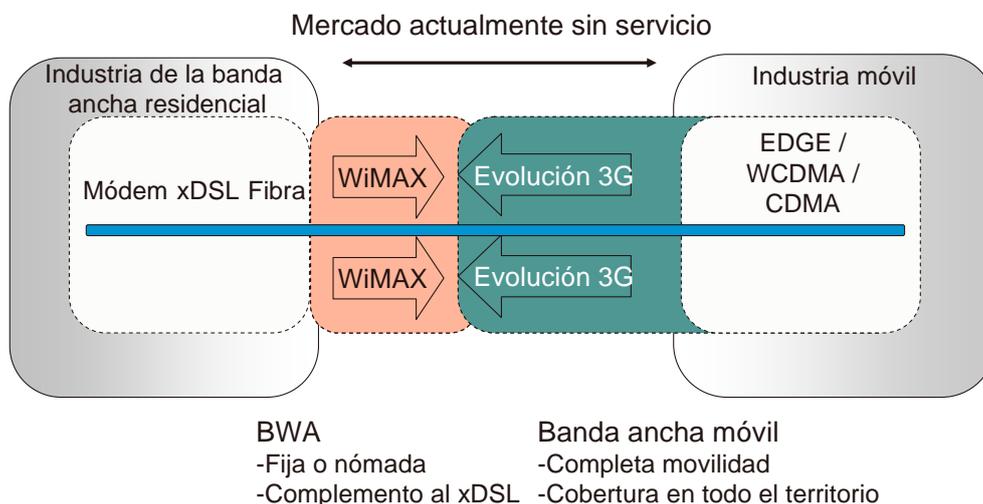


Figura 6. Evolución de la banda ancha. Fuente: Ericsson.

Dada la distinta naturaleza de ambos proyectos y los retos asumidos en cada uno de ellos se plantea la **constitución de dos consorcios** formados tanto por organismos públicos como entidades privadas, tratando de cubrir los distintos segmentos involucrados de la cadena de valor. Estos proyectos fueron **promovidos desde el Grupo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (GTIC) de la Universidad Politécnica de Madrid** del que formaba parte y liderados **por dos operadores de referencia** en nuestro país: **HISPASAT** como operador satelital e **IBERDROLA** como compañía puntera en redes de acceso PLC y poseedora de licencia LMDS a través de su compañía participada NEO-SKY.

Estas propuestas se presentaron al programa PROFIT de I+D+i, dentro del Área de las Tecnologías de la Sociedad de la Información del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (I+D+i 2004-2007), siendo aprobadas y financiadas por el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. La ejecución de ambos proyectos concurre en paralelo a la elaboración del proyecto fin de carrera, cuyo estudio inicial de viabilidad resultó clave a la hora de plantearse la constitución de ambos consorcios y el planteamiento de ambos proyectos PROFIT.

## Proyecto RASWER

El primero de estos proyectos PROFIT recibe el nombre de RASWER, acrónimo de Redes de Acceso Satélite-WiMAX para Entornos Rurales. En él se planteaba el reto de **complementar las redes de acceso satelitales con soluciones de acceso WiMAX en banda no licenciada en 5 GHz**, con el hándicap adicional de la **inexistencia de equipamiento** WiMAX disponible comercialmente en esa banda y un **proceso de certificación** de equipamiento WiMAX aún en estado **incipiente**.

Por tanto, para llevar a término este proyecto se contó desde el primer momento con un operador de telecomunicaciones por satélite como **HISPASAT**, un fabricante español de equipos radio WiMAX como **Albentia Systems**, el laboratorio encargado de la certificación mundial de equipos WiMAX **AT4Wireless** (anteriormente conocido como CETECOM) y un Organismo Público de Investigación como la **UPM**.

El área de actuación de este proyecto se centraba en las zonas rurales, en las que el satélite se plantea como una opción demasiado costosa para la red de acceso que puede sacar partido de las ventajas inherentes a la tecnología WiMAX. Esta tecnología de acceso radio puede emplearse a su vez como plataforma para la oferta de servicios convergentes que respondan a las necesidades domésticas (vigilancia y seguridad) y profesionales (automatización y control de riegos, temperatura o humedad entre otras) del sector rural, complementándose con redes de área personal inalámbricas de bajo coste y consumo, como es el caso de la tecnología Zigbee.

Tras un análisis exhaustivo de los estándares, el grado de complementariedad de las distintas redes y su viabilidad económica, se procedió a la definición de una **arquitectura de referencia** que hiciera posible la oferta de un amplio abanico de servicios, que se verificará experimentalmente mediante una **maqueta**. Esta maqueta fue implementada en la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), y en ella se combinaron las tecnologías inicialmente disponibles (satélite, Wi-Fi 802.11a y módulos inalámbricos en 868 MHz.) con objeto de analizar sus **características y limitaciones en un entorno real de implantación**, así como simular los efectos de la propagación en la **banda de 5GHz**.

Los elementos que constituyen la maqueta a desarrollar en la primera fase se dividen en cinco grandes grupos:

Terminal VSAT satelital.

Equipamiento del “nodo” local.

Equipo radio punto – multipunto 802.11a.

Equipos radio punto – punto 802.11a y distribución en entorno de usuario.

Equipo *Proxy* 802.11g - WPAN

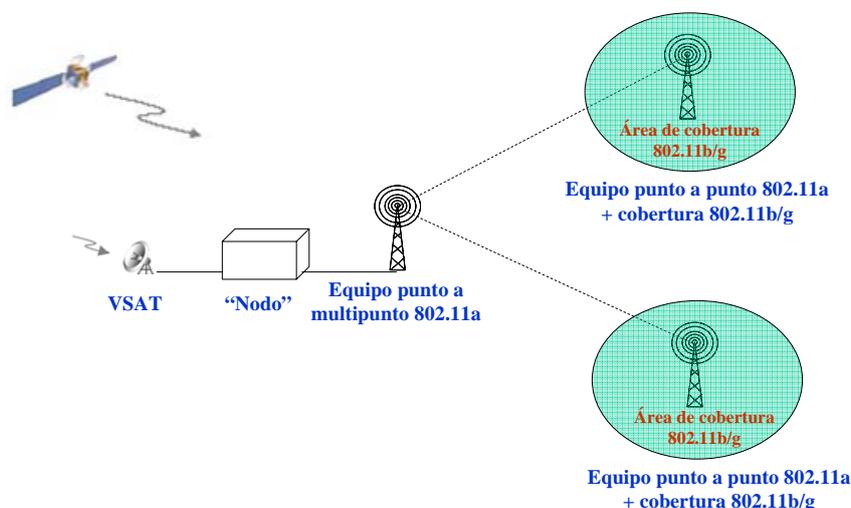


Figura 7. Esquema de la Fase 1 de la maqueta.

En la *Figura 7* precedente se recoge un esquema de la red, que se completaría con los equipos WPAN del segmento doméstico. El “nodo” local constituye el punto en el que implementar aquellos servicios y funcionalidades demandados a nivel local y basados en el mundo IP, presentando las ventajas asociadas a una mayor personalización de la oferta y de su control desde la red satelital, tanto en lo referente a la actualización de los contenidos como a la incorporación de nuevos servicios.

En una segunda fase, la versión inicial de la maqueta se actualizará con las tecnologías objeto de nuestro estudio, sustituyendo el tramo de red inalámbrica Wi-Fi por la red de acceso WiMAX, y el protocolo propietario de nodos en 868MHz por la red inalámbrica de área personal Zigbee, realizando una comparativa entre Wi-Fi y WiMAX así como los nodos en 868MHz y Zigbee a través de una batería de pruebas previamente definida.

## Proyecto RANGIHD

El proyecto RANGIHD recibe su nombre de **Redes de Acceso de Nueva Generación Inalámbricas y Hogar Digital**, para lo cual se contó con la participación y el apoyo de **IBERDROLA**, operador de red PLC y con el control accionarial de **NEO-SKY**, adjudicataria de **licencias LMDS** en nuestro país.

En esta ocasión el reto planteado se centra en la búsqueda de alternativas rentables a las tradicionales redes de acceso con hilos, aprovechando las ventajas de las nuevas tecnologías inalámbricas Pre-WiMAX y WiMAX en cuanto a capacidad y nuevas funcionalidades requeridas para ofrecer servicios integrados. Asimismo, otro de los objetivos prioritarios del proyecto es la distribución dentro del edificio y doméstica de los servicios ofrecidos a través de la red de acceso, partiendo de la base de la reutilización de las infraestructuras ya existentes con gran cobertura y capilaridad.

Análogamente al proyecto anterior, se llevó a término un conjunto de **análisis y valoraciones de los aspectos tecnológicos, de mercado y regulatorios** que condicionen, en mayor o menor medida, las oportunidades de explotación y comercialización de la solución, con el objetivo de determinar la **viabilidad tanto técnica como económica de la propuesta**.

Uno de los hitos del proyecto es la definición de una **arquitectura de referencia** con dos partes claramente diferenciadas: por un lado la **red de acceso hasta el hogar del usuario** y, por otro, la **distribución de la conectividad y de los servicios implementados sobre ella a través del edificio hasta el hogar**. El resultado del proceso de investigación, desarrollo e innovación se validará y se verá plasmado en una **prueba piloto** que permita confirmar las funcionalidades de la nueva red, en una zona que reúna las características de falta de acceso de banda ancha (en parte o en la totalidad de su término municipal), así como una importante demanda potencial de nuevos servicios “*Triple Play*”. El piloto será de gran valor a la hora de analizar la idoneidad de la solución, así como su posible aplicación en un despliegue comercial real.

# **ANEXOS**

## Metodología

La metodología empleada en la elaboración del presente proyecto fin de carrera (PFC) está basada en la metodología empleada por el Grupo de Análisis y Prospectiva del Sector de las Telecomunicaciones (GAPTEL), cuyo objetivo es:

*“realizar una labor de análisis y prospectiva del sector de las telecomunicaciones y Sociedad de la Información, que permita entender de dónde venimos y hacia donde vamos, con el fin de identificar el futuro más deseable de entre todos los posibles e influir en el diseño adecuado de políticas y estrategias dirigidas a alcanzarlo”<sup>1</sup>.*

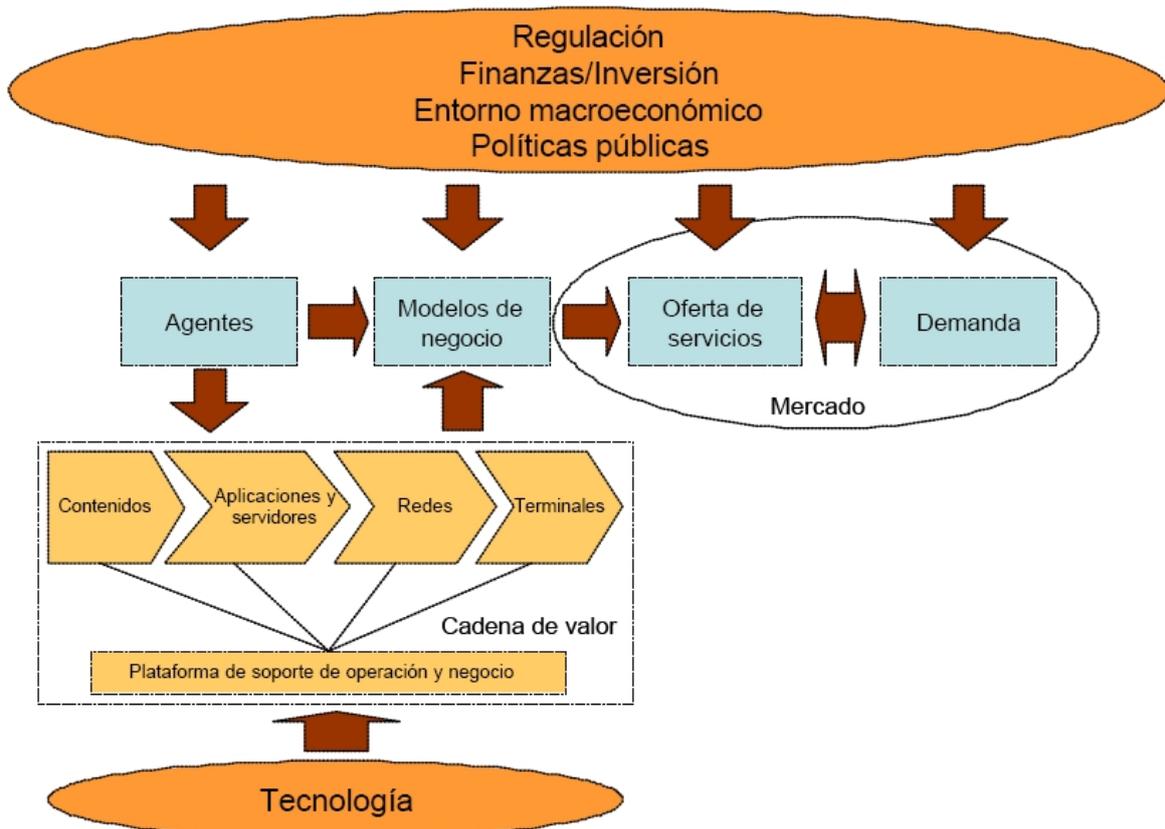


Figura 8. Metodología. Fuente: GAPTEL.

En la figura anterior se recoge el modelo básico de análisis empleado por el GAPTEL, en el que la tecnología, el entorno económico, el entorno regulatorio y las políticas públicas son considerados como los factores facilitadores o inhibidores de la evolución del sector. Por otro lado, los agentes involucrados buscan posicionarse adecuadamente en la cadena de valor y, mediante un adecuado modelo de negocio, proporcionar al mercado aquellos servicios que éste demanda.

Dada la amplitud del análisis anterior, este PFC focalizará su atención en los aspectos tecnológicos y de negocio asociados a las redes de acceso de nueva generación, así como el grado de rivalidad o complementariedad de dichas redes con las redes móviles ya desplegadas y en continua evolución. Aspectos tales como la regulación o las políticas públicas se abordarán únicamente en la medida en que condicionen a las tecnologías y modelos de negocio considerados, no habiéndose previsto un análisis exhaustivo de ellos.

<sup>1</sup> Fuente: “Objetivos y metodología”. Grupo de Análisis y Prospectiva del Sector de las Telecomunicaciones (GAPTEL). Octubre 2003

## Financiación del Proyecto

La financiación de los estudios previos al planteamiento del proyecto ha correspondido al Grupo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (GTIC) del Departamento de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones (SSR) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), a través de una beca de investigación.

Una vez definida la temática y objetivos del proyecto, la financiación ha pasado a correr a cargo de la Cátedra Telefónica Móviles España, adscrita a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación (ETSIT) de la UPM. El principal objetivo de la Cátedra es:

*“apoyar las actividades que favorezcan la formación, tanto en grado como en postgrado y doctorado, de las telecomunicaciones en general y móviles en particular así como los estudios que ayuden a un mejor aprovechamiento de los servicios móviles tanto en el ámbito de las personas como de las empresas y los dispositivos. Para ello, la Cátedra potenciará la formación en dirección y gestión de tecnologías, sistemas y servicios de telecomunicación, en creación de servicios y negocios basados en tecnologías móviles en España.”*

Cabe destacar que la labor investigadora desarrollada ha tenido lugar dentro del Grupo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (GTIC) de la UPM, continuando más allá de la lectura y defensa del proyecto mediante la participación como investigador en proyectos de I+D+i subvencionados con fondos PROFIT.

