

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID**  
**ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR**  
DEPARTAMENTO DE TEORÍA DE LA SEÑAL Y COMUNICACIONES



**PROYECTO FIN DE CARRERA**

INGENIERÍA TÉCNICA DE TELECOMUNICACIONES  
SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN

ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE BACKHAUL DE SMALL  
CELLS LTE POR SATELITE

**AUTOR:** Antonio Barragán Barragán

**DIRECTOR:** Óscar Íñigo Pérez Navarro

**TUTORA:** Ana García Armada

Leganés, 23 de Octubre de 2015



Universidad Carlos III de Madrid

# ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE BACKHAUL DE SMALL CELLS LTE POR SATELITE

## **PROYECTO FIN DE CARRERA**

AUTOR: ANTONIO BARRAGÁN BARRAGÁN

TUTORA: ANA GARCÍA ARMADA

## **TRIBUNAL**

RAQUEL PÉREZ LEAL

MARÍA CALDERÓN PASTOR

VÍCTOR P. GIL JIMÉNEZ

LEGANES 23 OCTUBRE 2015

DEPARTAMENTO TEORIA DE LA SEÑAL Y COMUNICACIONES

## **AGRADECIMIENTOS:**

En primer lugar, a mi mujer, Vanesa, por el tremendo esfuerzo que le ha supuesto también a ella este período. Hemos tenido que trabajar en equipo para sacar esto adelante, yo el proyecto y ella a su embarazo, los peques, la casa, la guardería, su trabajo..... solo puedo darte las gracias porque sin tu ayuda no hubiera llegado aquí. ¡A partir de ahora empieza lo bueno! Nos quedan muchos años por disfrutar.

A mis chiquillos,

A mi hija Martina, que venía todas las noches a mi escritorio a “ayudarme” a hacer el Proyecto, para que terminara antes. Me dibujaba siempre unos garabatos en una libreta.... un círculo decía ella, y así ella sentía que me estaba ayudando, y en verdad.... me estaba ayudando.

A mi Pablo, que ha nacido justo durante el desarrollo de este trabajo y por el que siento cierta pena de no haberle podido dedicar más tiempo en sus primeros meses. Sus sonrisas de bebé han sido mi principal fuente de energía para avanzar en este trabajo.

A mis padres,

A mi madre, ¿cuántas veces puede una madre decir a su hijo que se ponga con el proyecto en todo este tiempo? Sé que ahora va a ser un poquito más feliz y eso también me hace feliz a mí.

A mi padre, por su confianza en que tarde o temprano iba a sacarme esto.

También quiero acordarme de mi abuela. “¡Ahí lo tienes abuela!”, le diré, mientras converso con ella alguna batallita. Qué placer da conversar con una persona mayor.

A mis hermanos, a Sebas por sus consejos y a Ramón por su paciencia y comprensión, nadie como él valora el esfuerzo que supone dedicar horas y horas a la ardua tarea del estudio.

A mi tutora, a Ana, me ha dado su confianza desde el principio y en parte también he llegado hasta aquí por ella. Gracias Ana, transmites energía positiva.

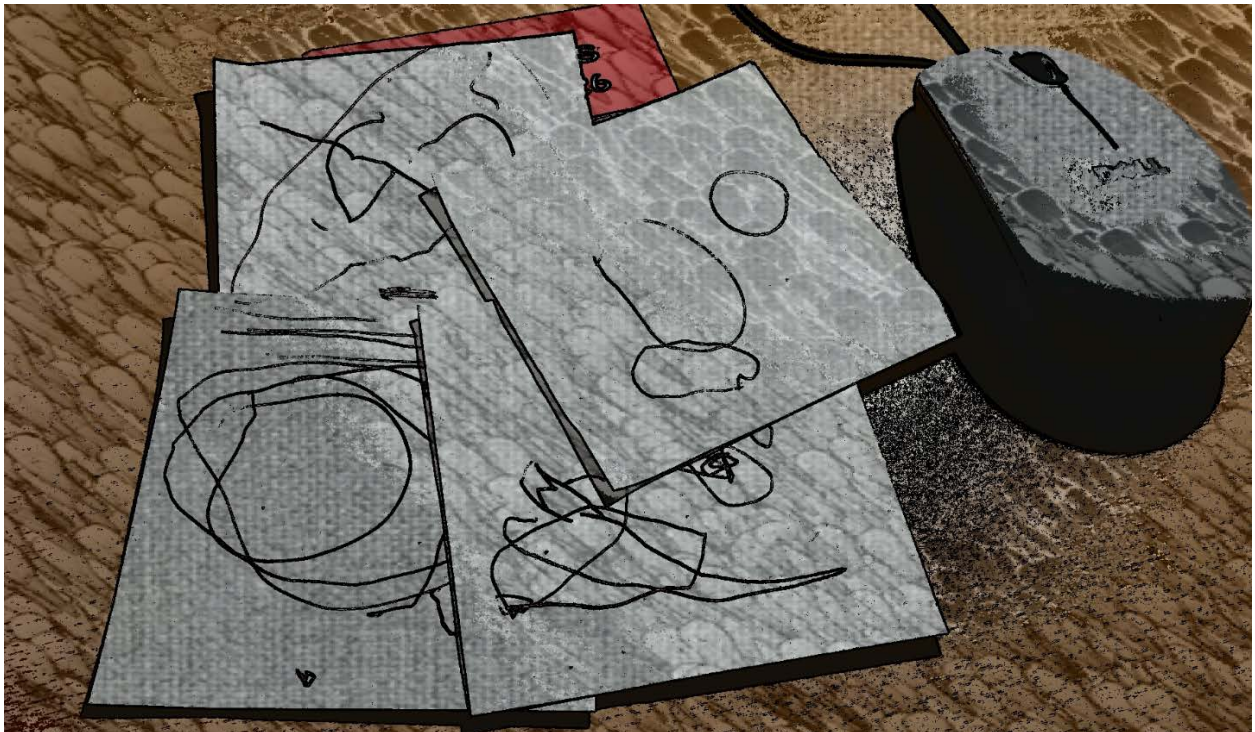
A Oscar, mi compañero de trabajo en Hispasat desde los inicios, con el que he compartido toda mi vida profesional y al que le agradezco que me haya ayudado en esto. Espero seguir contando contigo y que sigamos evolucionando en este sector. Gracias por animarme a hacer deporte.

A Pau Gasol, no tengo adjetivos para describir a este hombre. Mejor deportista español de todos los tiempos. Me genera una alegría interior recordar su tremendo partido contra Francia del Eurobasket de este verano. Me hizo perder una noche de trabajar en el proyecto pero me transmitió suficiente energía y bienestar para seguir avanzando en todos los días posteriores.

A la pequeña salamanquesa que se colaba cada noche por mi habitación y “creo” me libraba de los mosquitos en las calurosas noches de éste verano de record de calor.

Y por último mi agradecimiento a la evolución de la tecnología de la que me siento partícipe en mi profesión y de la que creo que este proyecto supone una contribución. Gracias a ella, mientras mi familia estaba fuera de casa para que yo pudiera hacer este trabajo, pude hablar con mi mujer, ver fotos, whatsapps, notas de voz y videos de mis hijos. Todo ello ha hecho que se minimizara su ausencia. El valor de recibir una nota de voz de mi niña, o un video de mi hijo es incalculable. Por ello también este agradecimiento a esa tecnología que permite acercar a las personas.

Cita: “Conectar a los desconectados” (Mark Zuckerberg, Elon Musk, entre otros)



"Ayudas" de Martina para terminar el proyecto

# ÍNDICE

## Lista de acrónimos

1	INTRODUCCION Y OBJETIVOS.....	11
1.1	Introducción .....	11
1.2	Objetivos .....	12
1.3	Fases del desarrollo.....	12
1.4	Medios y metodologías empleados .....	13
1.5	Estructura de capítulos de la memoria .....	14
2	CONTEXTO DEL PROBLEMA Y ESTADO DEL ARTE.....	15
2.1	Introducción y contexto del problema.....	15
2.2	Retos de los operadores móviles para satisfacer la demanda de capacidad de red móvil celular.....	16
2.3	Small cells:.....	17
2.3.1	Tipos de Small cells .....	18
2.3.2	Principales retos de la tecnología de Small Cells.....	19
2.3.3	Estrategias de despliegue de Small cells .....	20
2.3.4	Eficiencia espectral Small cells vs macrocells .....	22
2.4	Backhaul en Small cells .....	22
2.5	Redes HetNet .....	23
2.6	Desarrollo, despliegue y promoción de la tecnología de Small cells .....	23
3	SISTEMA LTE.....	27
3.1	Origen de LTE .....	27
3.2	Objetivos de LTE .....	27
3.3	Arquitectura del sistema LTE .....	28
3.3.1	Arquitectura general del sistema.....	28
3.3.2	Red de acceso evolucionada: E-UTRAN / E-RAN.....	29
3.3.3	Red troncal de paquetes evolucionada: EPC.....	30
3.3.4	Interfaces LTE .....	32
3.3.5	Subsistema IP multimedia .....	34
3.3.6	Equipos de usuario.....	34
3.4	Virtualización del EPC y del nodo RAN en Small Cells .....	35
3.5	Nivel físico LTE.....	37
3.6	Conceptos básicos de la interface radio .....	39
4	SISTEMAS DE BANDA ANCHA SATÉLITE.....	43
4.1	Origen y evolución de las comunicaciones de datos por satélite.....	43
4.2	Plataformas de banda ancha por satélite.....	44
4.2.1	Terminales remotos (VSATs) .....	44
4.2.2	HUB – Gateway .....	46
4.2.2.1	Subsistema de recepción.....	46
4.2.2.2	Subsistema de transmisión.....	46
4.2.2.3	Subsistema de referencia .....	46
4.2.2.4	Subsistema de gestión.....	47
4.2.2.5	Subsistema IP.....	47
4.2.2.6	Subsistema RF .....	48
4.2.2.7	Subsistema de conformación de tráfico .....	48
4.2.2.8	Subsistema de “Enhancement” .....	48
4.3	Canales de comunicación satélite.....	50
4.3.1	Canal forward.....	50
4.3.2	Canal retorno.....	51
4.4	Métodos de acceso TDM/TDMA vs SCPC .....	51
4.4.1	SCPC.....	51

4.4.2	TDM/TDMA .....	52
4.4.3	Comparativa .....	53
4.4.4	Multiplexación estadística .....	55
4.5	Órbitas y retardo de propagación. ....	55
4.6	Retos de las comunicaciones de banda ancha por satélite .....	57
5	CARACTERIZACION BACKHAUL CELULAR 3G/LTE DE SMALL CELLS POR SATELITE .....	61
5.1	Introducción .....	61
5.2	Arquitectura del Sistema .....	61
5.3	Equipamiento .....	62
5.4	Factor de forma y dimensiones del equipamiento de backhaul .....	64
5.5	Instalación equipamiento de backhaul satélite .....	65
5.6	Alimentación del equipamiento de backhaul .....	65
5.7	Despliegue .....	66
5.8	Cobertura .....	66
5.9	Jitter, retardo y pérdida de paquetes .....	66
5.10	Capacidad .....	68
5.11	Virtualización del EPC Core Network: .....	68
5.12	Operativa y mantenimiento .....	70
5.13	Licenciamiento .....	71
5.14	Disponibilidad del servicio .....	71
5.15	Sincronización .....	72
5.16	Seguridad .....	74
5.17	Competencia .....	75
5.18	Business plan .....	77
6	ESCENARIOS DE APLICACIÓN .....	79
6.1	Introducción .....	79
6.2	Características generales de los escenarios rurales y remotos .....	79
6.3	Retos y motivación de los operadores en los escenarios rurales y remotos .....	79
6.3.1	Motivaciones generales que encuentran los operadores .....	79
6.3.2	Tamaño del mercado rural y remoto .....	80
6.3.3	Características diferenciales de los mercados rural y remoto .....	80
6.4	Papel de las small cells y la tecnología satélite de backhaul en los escenarios rurales y remotos .....	81
6.5	Escenarios de aplicación .....	82
6.5.1	Comunidades rurales .....	82
6.5.1.1	Introducción del escenario rural .....	82
6.5.1.2	Factores impulsores del mercado rural .....	82
6.5.1.3	Descripción y arquitectura del esquema de backhaul satélite .....	83
6.5.2	Medios de transporte .....	84
6.5.2.1	Introducción del escenario: .....	84
6.5.2.2	Factores impulsores .....	84
6.5.2.3	Descripción y arquitectura de la solución de small cells sobre backhaul satélite .....	85
6.5.3	Escenario militar .....	87
6.5.3.1	Introducción del escenario militar .....	87
6.5.3.2	Factores impulsores del escenario militar .....	87
6.5.3.3	Descripción y arquitectura del esquema de backhaul .....	88
6.5.4	Escenario Desastres y labor humanitaria .....	88
6.5.4.1	Introducción del escenario .....	88
6.5.4.2	Factores impulsores .....	89
6.5.4.3	Descripción y arquitectura del esquema de backhaul satélite .....	89
6.5.5	Escenario industria remota .....	90
6.5.5.1	Características generales del escenario .....	90
6.5.5.2	Factores impulsores .....	90
7	ANALISIS DE PROVEEDORES DE EQUIPAMIENTO BACKHAUL SATELITE .....	91
7.1	Introducción .....	91
7.2	Proveedor Gilat .....	91
7.2.1	Presentación corporativa del proveedor .....	91

7.2.2	Solución de backhaul celular que propone Gilat.....	92
7.2.3	Análisis de principales fortalezas de la solución.....	96
7.2.4	Debilidades detectadas.....	97
7.2.5	Experiencia de Gilat en backhaul celular.....	98
7.2.6	Roadmap futuro.....	98
7.2.7	Estimación de costes.....	99
7.3	Proveedor Idirect.....	99
7.3.1	Presentación corporativa.....	99
7.3.2	Solución de backhaul celular que propone Idirect.....	100
7.3.3	Principales fortalezas.....	102
7.3.4	Debilidades detectadas.....	103
7.3.5	Experiencia.....	103
7.3.6	Roadmap futuro.....	105
7.3.7	Estimación costes.....	105
7.4	Desarrolladores de small cells adaptadas a Satélite.....	105
7.4.1	Lemko.....	106
7.4.1.1	Presentación corporativa.....	106
7.4.1.2	Solución que propone Lemko.....	106
7.4.1.3	Fortalezas:.....	107
7.4.1.4	Experiencia.....	108
7.4.1.5	Coste.....	109
7.5	Otro equipamiento utilizado en esquemas de backhaul.....	109
7.5.1	Generadores de energía alternativa.....	109
7.5.1.1	Componentes de un sistema fotovoltaico.....	109
7.5.1.2	Dimensionado de una solución fotovoltaica.....	110
7.5.1.3	Coste.....	111
7.5.2	Sistemas portables manpacks.....	111
8	CASO DE ESTUDIO COMPLETO.....	115
8.1	Introducción.....	115
8.2	Planteamiento del problema.....	115
8.3	Descripción de requerimientos del cliente.....	117
8.3.1	Requisitos de ámbito general.....	117
8.3.2	Requisitos de ámbito técnico.....	117
8.3.3	Requisitos de ámbito económico.....	120
8.3.4	Requisito plan de pruebas.....	120
8.4	Análisis y respuesta a los requisitos.....	120
8.4.1	Justificación de decisión.....	120
8.4.2	Respuesta a requisitos de ámbito general.....	122
8.4.3	Respuesta a requisitos de ámbito técnico.....	127
8.4.4	Respuesta a requisitos de ámbito económico.....	144
8.4.5	Respuesta a requisitos de plan de pruebas.....	147
8.4.6	Conclusiones:.....	149
9	FUTURO Y EVOLUCION DE LA TECNOLOGIA.....	151
9.1	Introducción.....	151
9.2	Evolución social.....	151
9.3	Evolución de la tecnología celular.....	152
9.3.1	Futuro LTE.....	152
9.3.2	5G.....	156
9.4	Evolución en las small cells.....	156
9.4.1	Soporte multi-rat RRM convergencia red wifi.....	156
9.5	Evolución del backhaul.....	157
9.5.1	XHAUL.....	157
9.6	Evolución de la tecnología satélite.....	158
9.6.1	Nuevos satélites HTS.....	158
9.6.1.1	Satélite O3B.....	159
9.6.1.2	OneWeb.....	162

9.6.1.3	spaceX .....	165
9.6.1.4	Internet.org.....	165
9.6.1.5	Comunicaciones por satélite sobre tecnología láser.....	165
10	CONCLUSIONES.....	167
11	REFERENCIAS, BIBLIOGRAFIA Y ACRÓNIMOS.....	168
11.1	Referencias.....	168
11.2	Bibliografía .....	169
11.3	Acrónimos.....	171
12	ANEXOS.....	176
12.1	Anexo I: Especificaciones técnicas equipamiento .....	176



## RESUMEN:

En la actualidad existe una creciente demanda de Servicios de datos a través de red celular en entornos rurales y remotos. La disponibilidad de esta conectividad IP de banda ancha por red celular se considera fundamental como factor impulsor de crecimiento socio-económico para estas regiones y escenarios. Tres tecnologías se presentan como elementos clave para el desarrollo de este tipo de servicios. En primer lugar la tecnología de small cells que proporciona un nodo de acceso radio a usuarios del servicio celular, flexible, de bajo coste y rápido despliegue, en segundo lugar la tecnología LTE, que aporta prestaciones y flexibilidad suficientes para proporcionar capacidades de banda ancha sobre la red celular y en tercer lugar la tecnología satélite que a través de los nuevos satélites de mayor capacidad y adaptados al servicio de datos, permite servir de enlace de interconexión de backhaul para conectar la red de acceso de small cells con la red troncal de los operadores móviles y prestar conectividad celular LTE en regiones rurales y remotas carentes de servicios IP. La convergencia de estas tres tecnologías está dando paso a un nuevo mercado potencial para la industria satélite en el cual se tienen puestas muchas expectativas y que permitirá el despliegue de forma intensiva de soluciones de conectividad LTE basadas en small cells con backhaul satélite en escenarios muy diversos: comunidades rurales, industria remota, medios de transporte aéreo y marítimo, entorno militar, etc.

En este proyecto se analizan de forma pormenorizada todos los aspectos relevantes que permiten entender las claves del desarrollo de la conexión de backhaul satélite para la prestación de servicios celulares LTE a través de small cells en entornos rurales y remotos.

Palabras clave: Backhaul, satélite, small cells, lte, 3g, rural, remoto, IP, banda ancha, celular

## SUMMARY:

Today there is a growing demand for IP connectivity via cellular network in rural and remote environments. The availability of this IP connectivity broadband cellular network is considered essential as a driver for socio-economic growth in these regions and scenarios. Three technologies are presented as key to the development of this type of service elements. First small cells technology that provides a radio access node to cellular users, flexible, low cost and rapid deployment, second LTE technology, which provides benefits and flexible enough to provide broadband capabilities on the cellular network and thirdly satellite technology through new higher-capacity satellites and adapted to the data service, can serve as backhaul interconnection link to connect the access network of small cells to the backbone of the mobile operators and provide LTE cellular connectivity in underserved rural and remote regions of IP services. The convergence of these three technologies is giving way to a new potential market for the satellite industry in which they have placed many expectations and will allow the deployment of intensively LTE connectivity solutions based on satellite backhaul and small cells in many different scenarios: rural communities, remote industry, planes and ships, military environment, etc. In this project we analyze in detail all aspects relevant for understanding the keys to the development of satellite backhaul connection to provide cellular services through LTE small cells in rural and remote environments.

Key words: Backhaul, satellite, small cells, lte, 3g, rural, remote, IP, broadband, cellular

# 1 INTRODUCCION Y OBJETIVOS

## 1.1 Introducción

Desde hace ya unos años estamos viviendo una imparable demanda en todo el planeta para disponer de capacidad de datos e internet de banda ancha en los dispositivos móviles celulares. Esto ha llevado a que se dediquen grandes esfuerzos desde todos los ámbitos económicos, sociales, tecnológicos, etc. para permitir y facilitar el acceso universal y global de este servicio a todos los usuarios.

En esta carrera tecnológica nos encontramos todavía con zonas deficientemente cubiertas donde los servicios de banda ancha móvil no llegan adecuadamente o incluso su presencia es inexistente. En estas zonas, la tecnología satélite se presenta como un óptimo candidato presentando varias características clave: cobertura global, rápido despliegue, bajo coste, etc.

Atrás quedaron los años donde el satélite permitía capacidades limitadas, elevadas tasas de error, asimetría del enlace y baja disponibilidad a precios muy elevados. En la actualidad, con la aparición de los nuevos sistemas satélites y las técnicas mejoradas de eficiencia, la tecnología satélite es capaz de proporcionar velocidades compatibles con la tecnología 3G y LTE. Por ello, recientemente el satélite se está empezando a utilizar como candidato destacado para dotar de servicios de banda ancha celular en zonas rurales, entornos remotos y de movilidad principalmente.

Por su parte, las small cells están sustituyendo el antiguo paradigma de despliegue de grandes estaciones bases basadas en macro celdas. Estas small cells proporcionan servicio allá donde se instalan de forma más flexible, más rápida y más barata. La combinación de small cells y tecnología satélite permiten desplegar servicios basados en red celular 3G/4G en zonas remotas, rurales y entornos de movilidad.

La convergencia de las small cells, la flexibilidad inherente de la nueva tecnología LTE junto con la tecnología satélite está contribuyendo a la aparición de un nuevo mercado potencial de gran interés para la industria satélite.

En el presente proyecto se pretende abordar el análisis de las soluciones de backhaul celular a través de satélite que permitiría dotar de servicios 3G/4G LTE mediante small cells a determinados escenarios de aplicación donde el satélite es la única tecnología posible.

## 1.2 Objetivos

El objetivo fundamental del proyecto es caracterizar la implementación y aplicabilidad de la tecnología satélite como red de backhaul para servir de conexión entre nodos small cells y red troncal de operadores móviles con el fin de prestar servicios celulares 3G y LTE en regiones rurales y remotas. Este tema es de incipiente interés profesional ya que numerosos estudios de la industria satélite estiman una demanda creciente de este tipo de despliegues en los próximos años.

Entre los objetivos secundarios se tiene:

- Documentar el contexto y Estado del Arte del problema para disponer del conocimiento necesario más actualizado que exista para resolver el problema de investigación planteado.
- Documentar el marco teórico que permita comprender el problema de investigación: Tecnología celular LTE y Sistemas de Comunicación de Banda Ancha por satélite.
- Llevar a cabo un análisis completo de la arquitectura integral de la solución de backhaul LTE por satélite, de los componentes y sistemas involucrados y de su integración entre ellos.
- Investigar y analizar las tecnologías, técnicas, estándares y mecanismos directamente aplicados en la máxima profundidad posible para conseguir extraer el máximo entendimiento de la tecnología de bajo nivel subyacente.
- Presentar un caso de estudio real de aplicación del servicio de backhaul 3G/LTE que permita sustentar la aplicabilidad de la solución a escenarios prácticos reales.
- Desarrollar un business plan en detalle para analizar los costes del despliegue de la solución así como la previsión de los retornos alcanzables.
- Analizar las actuales propuestas del mercado en lo que respecta a Small Cells, LTE y backhaul satélite así como de los nuevos mercados potenciales que se abren para el mercado satélite en caso de implementar la solución que se propone.
- Presentar las líneas futuras y desarrollos experimentales en curso para ser aplicables sobre los Sistemas de Banda Ancha vía satélite con la finalidad de mejorar las prestaciones de la Solución presentada.

## 1.3 Fases del desarrollo

- Fase 1: Localización de un tema de interés de acuerdo a mi desempeño profesional.
- Fase 2: Análisis de recursos disponibles, tiempo disponible y planificación para finalización dentro del plazo establecido.

- Fase 3: Esquematización de las vías principales de estudio del tema de interés.
- Fase 4: Localización de documentación disponible y estudio teórico.
- Fase 5: Análisis de Proveedores de servicios y equipamiento que permitan el diseño de la solución para el caso de estudio.
- Fase 6: Elaboración de un caso de estudio como simulación de un análisis real y propuesta de solución al tema bajo estudio.
- Fase 7: Elaboración de la memoria del proyecto
- Fase 8: Presentación del proyecto ante el tribunal de evaluación.

#### **1.4 Medios y metodologías empleados**

Para la realización de este proyecto ha sido necesario revisar los siguientes conceptos teóricos de interés:

- Capacidad para diseñar sistemas completos a partir de un problema específico y a través de la integración de componentes de comunicación, haciendo uso de las hojas de especificaciones técnicas de los mismos.
- Capacidad para selección de equipos y sistemas de transmisión que se ajusten a la solución buscada.
- Fundamentos de propagación que condicionan las comunicaciones por radioenlaces (satélite)
- Balance de enlaces (parámetros de calidad de la comunicación)
- Técnicas de Acceso a medio compartido (TDMA, TDM, SCPC, OFDM, etc.)
- Conocimiento del Nivel de Red Internet. Protocolo IP.
- Conocimiento del Nivel de Transporte (TCP/UDP). Comprender y analizar el comportamiento de TCP en diversas situaciones, crecimiento, tráfico interactivo, congestión.
- Conocimiento de las políticas de QoS y de gestión del Ancho de Banda disponible. Multiplexación estadística para tráfico a ráfagas (burst basis).
- Modulaciones de señal y técnicas de corrección de errores.
- Técnicas de aplicación de soluciones a problemas reales.
- Técnicas de búsqueda y uso de la información
- Técnicas de expresión oral y escrita.

## **1.5 Estructura de capítulos de la memoria**

Capítulo 1: Introducción y Objetivos: Se hace una breve presentación del proyecto en su conjunto, se expone la motivación del mismo así como los objetivos que se pretenden alcanzar a su término.

Capítulo 2: Contexto del problema y estado del arte: Se introduce el estado actual del problema y situación de demanda de las comunicaciones basadas en red celular 4G-LTE, se presenta el contexto del problema y la convergencia de las tecnologías LTE, Small Cell y Satélite para dar servicio LTE en escenarios rurales y remotos. Se presenta la tecnología satélite como tecnología aplicable para dar respuesta al problema planteado.

Capítulo 3: Sistema LTE: Se presenta el marco teórico del sistema celular de nueva generación LTE que sirve como base necesaria para el correcto entendimiento de los capítulos siguientes.

Capítulo 4: Sistema de Banda Ancha Satélite: Del mismo modo que el anterior capítulo, se presenta en este caso un capítulo que introduce las bases teóricas de la tecnología de banda ancha por satélite que servirá de base teórica necesaria para la comprensión del resto de capítulos.

Capítulo 5: Caracterización de un Sistema Backhaul Celular LTE por Satélite: En este capítulo se caracteriza el tema principal del proyecto, se detalla todo lo necesario para poder diseñar una solución real para la prestación de un servicio LTE a través de un esquema de backhaul satélite.

Capítulo 6: Escenarios de Aplicación: Se presentan los escenarios específicos donde la solución de small cells LTE con backhaul satélite presenta unas características ideales para el despliegue de soluciones LTE.

Capítulo 7: Análisis de Proveedores de Equipamiento de Backhaul LTE Satélite: Este capítulo analiza algunos de los principales proveedores de equipamiento de aplicación directa a la solución de backhaul LTE por satélite.

Capítulo 8: Caso de Estudio Completo: En este capítulo se plantea un caso de estudio completo, con el objetivo de presentar una aplicación práctica comercial que concentre gran parte de los conceptos teóricos principales vistos en los anteriores capítulos. El caso de estudio plantea un problema de necesidad de conectividad LTE sobre un escenario remoto donde una solución comercial basada en tecnología de backhaul satélite se presenta como la alternativa más óptima.

Capítulo 9: Futuro y Evolución de la Tecnología: Este capítulo trata de dar unas pinceladas de alto nivel, sin entrar en detalles técnicos ni profundidad de análisis pero sí introduciendo lo que el futuro tecnológico asociado a la conectividad celular y satelital nos deparará en los próximos años.

Capítulo 10: Conclusiones: Se presentan las conclusiones más importantes alcanzadas como fruto de todos los estudios realizados en los anteriores capítulos.

## 2 CONTEXTO DEL PROBLEMA Y ESTADO DEL ARTE

### 2.1 Introducción y contexto del problema

La demanda de tráfico de datos a través de las redes celulares por parte de usuarios de dispositivos móviles inteligentes y smartphones está experimentando un crecimiento exponencial que sin duda seguirá presente durante los próximos años.

El estudio anual realizado por Cisco en 2015 [1] respecto las previsiones y evolución del crecimiento de los servicios móviles [2014-2019] revela esta imparable tendencia creciente:

- Más usuarios móviles: En 2019 habrá hasta 5200 millones de usuarios móviles en todo el mundo (desde los 4300 millones que había en 2014). Es decir, en 2014, casi el 59% de la población mundial (7200 millones de personas) era usuario de servicio móvil y en 2019, esa cifra ascenderá hasta el 69% de la población mundial (7600 millones).
- Velocidades de transferencia de datos mayores: La velocidad global media alcanzable por los dispositivos móviles crecerá en un factor de 2.4, desde los 1.7Mbps (2014) hasta los 4.0Mbps (2019). Por regiones, las regiones rurales y regiones de África y Oriente medio serán las que mayor crecimiento tendrán.
- Crecimiento del tráfico de video: En 2019, el servicio de video en dispositivos móviles representará el 72% del tráfico global de datos (respecto el 55% de 2014)

Los datos de crecimiento del Servicio 4G, se sitúan en la misma línea creciente. La explosión de las aplicaciones móviles junto con la adopción del servicio 4G como medio que permite una verdadera conexión de alta velocidad está obligando a los Proveedores de Servicio a buscar fórmulas para adaptar sus infraestructuras al despliegue de servicios 4G. Los datos previstos por Cisco para la tecnología 4G en su previsión para los próximos años son también muy significativos:

- El crecimiento global de las conexión 4G, se estima crecerá desde los 459 millones en 2014, hasta los 3000 millones de conexiones en 2019. Eso significa un crecimiento de más de un 24% respecto los registros actuales.
- En lo que respecta al tráfico cursado, las conexiones 4G serán con mucha diferencia las que mayor tráfico generen suponiendo hasta un 68% del total del tráfico generado por el resto de tecnologías inalámbricas
- Se estima que las conexiones sobre tecnología 4G, podrán alcanzar en 2019 una velocidades de transferencia en media hasta los 14.2 Mbps frente a los 5Mbps de las tecnologías basadas en 3G.

Una parte importante de este crecimiento se estima tendrá lugar en zonas rurales y remotas, no en vano, diversos estudios cifran la tasa de población mundial que aún se encuentra “desconectada” en más del 60%, lo que se traduce en más de 3000 millones de usuarios desconectados de cualquier acceso a internet. [2]

Para hacer frente de una manera eficiente a toda esta demanda exponencial de tráfico, serán necesarias nuevas tecnologías y topologías de red. Las infraestructuras de red actuales basadas en grandes estaciones bases (macro-cells) junto con las limitaciones tecnológicas de disponibilidad del espectro no son capaces, ni están preparadas para soportar la creciente demanda de conexiones esperada.

Desde hace unos años se está introduciendo cada vez más un nuevo tipo de nodo de acceso para tecnología 3G y LTE de baja potencia, bajo coste y reducidas dimensiones cuya utilización permite incrementar las capacidades de cobertura y ancho de banda de las macrocells, de forma que se pueda aliviar en parte los requerimientos de demanda creciente de los usuarios. Estos nodos son conocidos como Small Cells.

Small Cells es un término que hace referencia al tipo de nodos de acceso radio 3g/4g/wifi de baja potencia, el término surge en contraposición a los nodos macrocell que son de alta potencia. Al ser nodos de baja potencia su rango de cobertura es significativamente pequeño y va desde unos pocos metros hasta varios kms. Además, el término de small cell ha adquirido en los últimos tiempos una amplitud mayor y concentra ya una importante colección de estándares, software, interfaces abiertos y en definitiva, un modo de operar específico que está posibilitando un mayor crecimiento de su despliegue

Las Small Cells son hoy día una realidad, después de multitudes fases de pruebas por parte de la industria, en la actualidad ya hay varias redes comerciales que prestan servicios de telefonía y datos 3g/4g a través de la tecnología de small cells, permitiendo por un lado incrementar la capacidad total disponible para los usuarios y por otro lado habilitar nuevas áreas de cobertura donde las macro-cells no alcanzan.

La demanda actual de comunicaciones móviles está adquiriendo un alcance global por lo que escenarios tradicionalmente carentes de esta tecnología como entornos remotos, rurales, marítimo, aviones, etc también están demandando la presencia de estas conexiones de banda ancha por red celular. La tecnología satélite se presenta como un óptimo candidato al servir de conexión de backhaul permitiendo conectar los nodos remotos de small cells con las redes troncales de los operadores móviles permitiendo el acceso al servicio de voz y datos.

## **2.2 Retos de los operadores móviles para satisfacer la demanda de capacidad de red móvil celular**

Los operadores de redes y servicio móviles celulares se encuentran ante el reto de buscar soluciones para poder satisfacer con calidad adecuada toda la demanda requerida por los usuarios.

Existen varias opciones que se enumeran continuación:



- Disposición de espectro adicional: El espectro disponible en el mercado está regulado tanto por entidades reguladoras como por los propios entes nacionales, y aunque éstos hacen esfuerzos para dotar de espectro para utilización de servicios de telefonía móvil (ej. refarming), la realidad es que el espectro disponible es completamente insuficiente para absorber toda la demanda entrante y futura.
- Mejorar técnicas de eficiencia: Con el objetivo de conseguir mejores ratios bps/Hz existen varias técnicas que se están desarrollando con este propósito: nuevos esquemas de modulación, utilización de múltiples bandas, agregación de portadoras, técnicas MIMO, etc.
- Migrar usuarios de redes 2G y 3G a 4G: Esto permitiría capitalizar la mejor eficiencia espectral de 4G y permitiría ganancias de hasta 6 veces más ancho de banda. No obstante, no siempre es fácil realizar esta migración y la misma lleva tiempo de implementación.
- Desplegar mayor número de Macro Celdas: Las Macrocells tienen el inconveniente de que son infraestructuras que conllevan un elevado coste, además debido a los elevados volúmenes que generan, necesitan localizarse en ubicaciones donde necesariamente exista un enlace de fibra para transportar el tráfico hasta los centros de gestión de tráfico de los Operadores móviles.
- Descarga de Tráfico hacia Wifi (Wifi-off load): Esta técnica está teniendo un desarrollo creciente en los últimos años. Supone utilizar la infraestructura de acceso Wifi ampliamente desplegada en los hogares y hot-spots públicos y privados para "descarga" parte de la demanda de datos requerida por los usuarios del servicio móvil.
- Despliegue de small cells: Las small cells son un nuevo nodo de acceso equivalente a las macrocells pero que aportan una serie de ventajas frente a estas, entre las que destaca una mayor flexibilidad permitiendo concentrar su despliegue en el sitio exacto donde se necesitan por lo que permiten aportar capacidad extra a la ya aportada por las macroceldas.

Si bien todas estas técnicas pueden ser adoptadas de manera individual, lo común por parte de los operadores es que se aborden de forma conjunta para un mejor aprovechamiento, dependiendo de las circunstancias y requerimientos.

### **2.3 Small cells:**

Las small cells son pequeñas estaciones base celulares que cubren pequeñas celdas y funcionan como puntos de acceso radio de baja potencia para los servicios 3G y LTE. Su utilización tiene 2 cometidos principales:

- Proporcionar Extensión de la cobertura 3g/4g: En la actualidad la práctica totalidad de las grandes ciudades y extensiones urbanas de los países desarrollados está adecuadamente cubierta con infraestructura de red celular (macroceldas) para proporcionar servicios 3g/4g. No obstante, existen muchos lugares del mundo, especialmente zonas subdesarrolladas, y zonas rurales, donde no se dispone de infraestructura adecuada para proporcionar conectividad

3g/4g a pesar de la demanda existente de esta tecnología y los servicios que proporciona. El despliegue de small cells en estas localizaciones supondría dotar de puntos de acceso para conectividad celular a estas regiones, a través de un esquema más flexible en términos de despliegue, rapidez y menor coste.

- Proporcionar capacidad extra donde las macroceldas 3g/4g estén muy congestionadas: Debido a la explosión en la demanda del tráfico de datos, las capacidades actuales de las macroceldas en determinados lugares no pueden soportar la demanda de tráfico y calidad de conexión requerida por los usuarios. El despliegue de small cells en estas localizaciones específicas supone una forma flexible, rápida y eficiente de resolver este problema: La small cell funcionaría de manera superpuesta a la macrocelda consiguiendo descargar parte del tráfico que se generaría en esta.

Otros aspectos importantes de alto nivel que definen las small cells son:

- Son nodos que proporcionan cobertura sobre un área más pequeña que la que cubre una macrocelda ( de hecho una macrocelda es capaz de solapar varias small cells en su área de cobertura)
- Al igual que las macroceldas, las small cells son desplegadas y gestionadas por los operadores
- Además los operadores garantizan su acceso abierto a todos los usuarios dentro del radio de cobertura de la small cell.
- Las small cells se caracterizan por ser elementos de bajo coste e instalación sencilla en comparación con las macroceldas
- Están orientadas principalmente a soportar servicio de datos, aunque los servicios de voz también están soportados.

### **2.3.1 Tipos de Small cells**

Dependiendo de factores como el tamaño, la potencia, el rango de cobertura o el escenario de utilización se pueden clasificar las small cells según la siguiente definición:

- Femtoceldas: Su rango de cobertura es de solamente unas pocas decenas de metros, son de baja potencia, hasta 100mw las que se ubican en zonas interiores y hasta 1W las ubicadas en zona exterior. La apariencia de esta estación no difiere mucho de un punto de acceso wifi doméstico. Su uso es principalmente doméstico y puede soportar unos 8 usuarios conectados simultáneamente.
- Picoceldas: Su rango de cobertura es algo más elevado que el de las Femtoceldas, normalmente instalados en zonas exteriores y pueden llegar hasta un máximo de 5W. Son más indicadas para entornos corporativos.

- **Metroceldas y Microceldas:** adecuadas para zonas de alta densidad, desde núcleos empresariales importantes, hasta aeropuertos o campos de fútbol. Trabajan en rangos de Potencia de 5W hasta 10W y están pensadas para soportar decenas de usuarios.
- **Meadowceldas:** Su rango de cobertura puede llegar hasta unos pocos kms. Trabajan con rangos de Potencia de 5W hasta 10W y están pensadas para instalaciones en exteriores. Son adecuadas para zonas de densidad media (rurales o núcleos urbanos de importancia media). Pensadas para soportar niveles > 100 usuarios.
- **Macrocelas:** Rangos de cobertura que cubren grandes distancias, decenas de kilómetros, trabajan en rangos de potencia >10W.

### 2.3.2 Principales retos de la tecnología de Small Cells

Se puede decir que la tecnología de Small Cells es hoy día una realidad, no obstante la tecnología aún no está completamente madura y actualmente su desarrollo se encuentra en plena evolución. Son muchas las empresas en la industria de las telecomunicaciones que están apostando por esta tecnología e introduciendo constantes mejoras, no obstante, la tecnología todavía tiene muchos retos por delante. Entre ellos, se destacan los siguientes:

- **Disponibilidad del backhaul apropiado:** Toda Small Cell que se instale necesita de una conexión que le permita alcanzar la red del operador a través de un enlace de backhaul. La decisión de la tecnología utilizada para este enlace de backhaul es uno de los puntos de mayor contribución a las prestaciones finales que tendrá la small cell así como en el impacto del coste de la misma. Tecnologías para una red de conexión de backhaul hay muchas, tanto inalámbricas (radioenlaces en onda milimétrica, en onda microonda, sub 6GHz, satélite etc.) como cableadas (Fibra, ADSL, Docsis, etc.), por tanto la decisión de diseño debe valorar cuál de todas ellas es la que más se ajusta al servicio y prestaciones que se quiere servir.
- **Gestión y mantenimiento de las redes de small cells (Interferencias – handovers):** Uno de los retos de los planificadores de redes celulares y operadores de campo es cómo monitorizar el rendimiento de la small cell no solo durante el despliegue sino también después del lanzamiento del servicio sin tener que añadir más costes o gastos imprevistos.
- **Prestaciones y Calidad:** Las prestaciones y calidad de la small cell pueden ser definidas en base a los requerimientos del servicio. Capacidad de la small cell, rango de cobertura, disponibilidad del servicio, sincronismo, seguridad, gestión de interferencias, coste, etc., son parámetros que se deben de decidir por parte del diseñador de la solución de acuerdo a los requerimientos de prestaciones y calidad del servicio.
- **Instalación e Integración de las redes small cells (SON):** La existencia de tanta heterogeneidad en las nuevas redes móviles tanto en sus tecnologías (2G, 3G, LTE, Wifi), como en sus topologías (macrocells, picocells, SmallCell), como en el espectro, también en el número de operadores y también en los servicios hacen que sean necesarios mecanismos de organización, gestión y optimización de toda esta heterogeneidad. Para ello la organización 3GPP junto con

NGMN han codificado una serie de especificaciones con el objetivo de facilitar el despliegue de nuevos nodos de red. Entre las funciones que debe soportar estos mecanismos están:

- Auto-configuración: Cada nueva instalación de una estación base small cells debería seguir el paradigma de "plug and play", y debería ser autoconfiguradas por la propia red una vez se detecte la introducción del nuevo elemento en la misma.
  - Auto-optimización: La red debería ser capaz de optimizar dinámicamente las características de la small cell (ej. condiciones radio) para adecuarla a las necesidades del entorno en el que se ubique.
  - Auto-recuperación: La red debería disponer de mecanismos que permitan auto-recuperar las prestaciones tras quedar inoperativo alguno de sus nodos, con el fin de reducir el impacto del fallo.
- Monetización de la tecnología de small cell: una de las fortalezas principales de la tecnología de small cells es su bajo coste comparativamente con la instalación de una macrocelda. El bajo coste permitiría un mayor potencial de despliegue por tanto uno de los objetivos de esta tecnología es moverse en economías de escala que reduzcan los costes de manufacturación.

### **2.3.3 Estrategias de despliegue de Small cells**

Como se ha visto en los apartados anteriores, existe una evidente motivación por parte de los operadores para el despliegue de small cells. Si bien el despliegue de una small cell aporta mejoras tanto en términos de capacidad como de cobertura, se puede hacer una primera clasificación, según cual sea la motivación primaria principal que origine la necesidad del despliegue por parte del operador. De esta forma en un primer nivel de clasificación podemos distinguir la motivación de despliegue por la mejora de la capacidad o bien por mejora de la cobertura.

Básicamente cuando se trata de un despliegue motivado por mejora de la capacidad, se trata de zonas donde ya existe una macrocelda, y el operador, con el despliegue de las small cells lo que persigue es mantener o incrementar el número de usuarios que son capaces de ser servidos con unos niveles de calidad y tasa de transferencia adecuadas incluso en rangos horarios de máxima congestión.

Respecto el despliegue motivado por cobertura, se refiere principalmente a la necesidad del operador por cubrir zonas donde previamente no había servicio. Pero también a zonas donde había servicio deficiente, p.ej en zonas con GSM-2G que solo permite unos pocos kilobits por segundo de datos frente a los megabits por segundo que permiten 3g-HSPA o LTE. Por lo que en sentido amplio, el despliegue motivado por cobertura se refiere tanto a llevar la conexión a zonas donde antes no había como a llevar un nuevo nivel de servicio de mayores prestaciones a zonas donde solo había un servicio básico.

Dentro de la categorización primaria por cobertura o capacidad, se pueden identificar las siguientes sub-estrategias de despliegue:

- **HotSpots Selectivos:** Se pueden desplegar small cells de forma selectiva para funcionar como hot-spots permanentes en ubicaciones específicamente seleccionadas por el Operador. Esta aproximación aporta mejoras de servicio tanto en la perspectiva de cobertura como de capacidad. Las soluciones basadas en tecnología inalámbrica NLOS (Non-line of sight) son las más indicadas en el caso de que no exista la opción de fibra o de conectividad inalámbrica LOS (Line of sight)
- **Despliegues distribuidos:** El nivel de calidad experimentado por los usuarios de la red móvil celular puede también ser mejorado a través de "inundar" de small cells un área de alta demanda. La mayoría de estos nodos podrían ser interconectados a la red de backhaul mediante conexiones LOS de alta capacidad o fibra.
- **Despliegues en Exteriores e Interiores:** Los Operadores también podrán utilizar las small cells para cubrir localizaciones tanto exteriores como interiores. Donde la cobertura sea la motivación primaria, se podrán considerar soluciones de backhaul de más baja capacidad. Respecto áreas no cubiertas como pueden ser las localizaciones remotas, serán necesarios soluciones basadas en satélite o enlaces punto a punto de microondas.

A continuación un esquema resumen que clasifica la estrategia de decisión a seguir por un Operador para el despliegue de small cells:

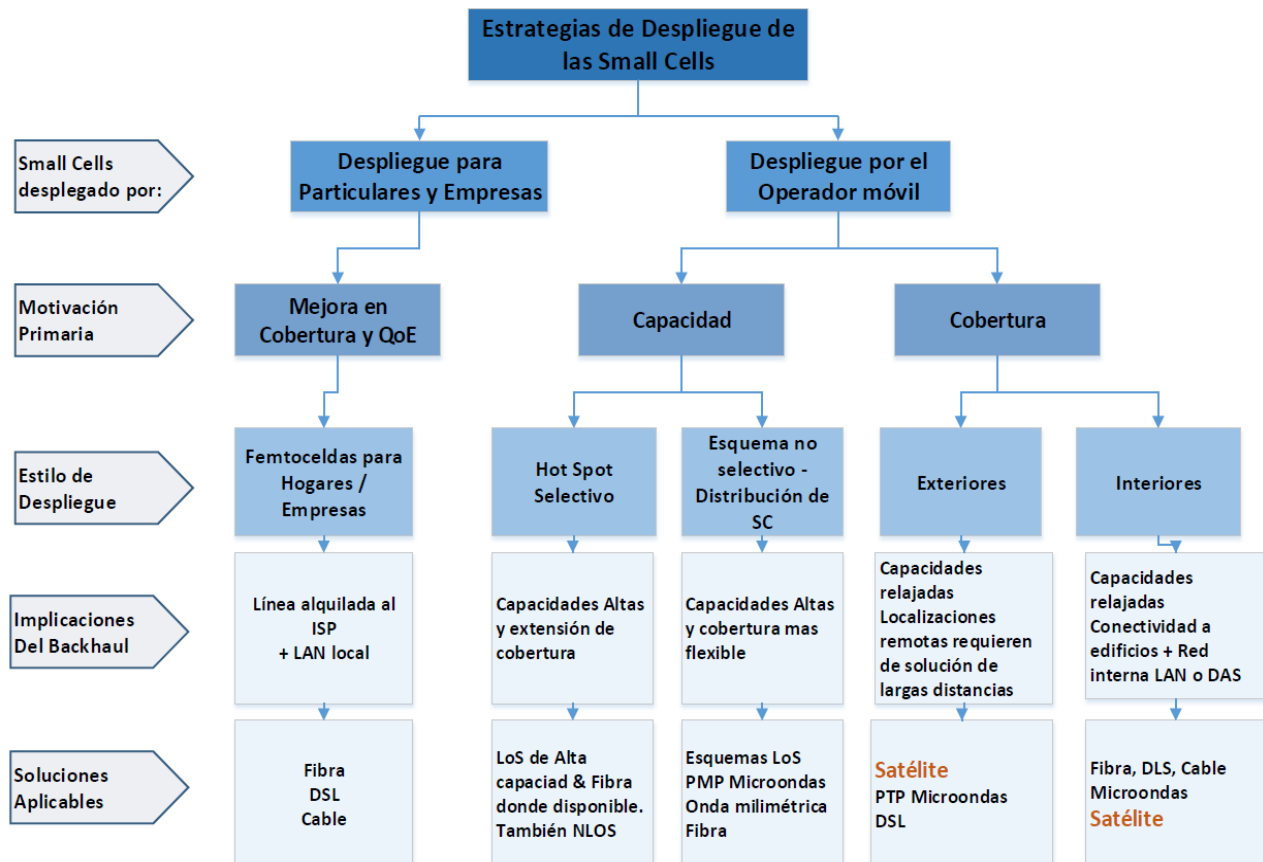


Figura 2.1. Estrategias de despliegue de Small Cells

### 2.3.4 Eficiencia espectral Small cells vs macrocells

En general, es esperable que las small cells tengan mejor eficiencia espectral que las macroceldas, y por tanto, mejores prestaciones en los rangos horarios de congestión de la capacidad conocidos como "busy times", las razones de ello son las siguientes:

- Habitualmente las small cells se ubican donde hay una alta concentración de usuarios, los cuales se ubican cerca de la small cell y por tanto la media de eficiencia a la que acceden a la small cell es más elevada.
- Las small cell están diseñadas para tener un mejor aislamiento entre celdas adyacentes, lo cual reduce las posibles pérdidas de calidad de señal por interferencia y finalmente se traduce en mayor eficiencia disponible en los rangos "busy time".

### 2.4 Backhaul en Small cells

Dentro del diseño y despliegue de una small cell, la adecuada selección de la tecnología de la conexión de backhaul que conecte la small cell con el core network del operador supone uno de los factores más relevantes para la prestación del servicio celular a través de small cells. De hecho, las características que se definan en el segmento de backhaul condicionan en gran medida las prestaciones finales que presenta la solución de la small cell. Entre las características que se deben definir en una conexión de backhaul están:

- Tecnología de Backhaul: Se seleccionará la más idónea de entre las múltiples opciones tanto inalámbricas (radioenlaces en onda milimétrica, en onda microonda, sub 6GHz, satélite etc.) como cableadas (Fibra, ADSL, Docsis, etc.), cada una de las cuales aportará determinadas ventajas e inconvenientes en términos de velocidad, coste, robustez, delay, rapidez de despliegue, etc.
- Diseño e integración: El equipamiento de backhaul deberá integrarse con el equipamiento de la small cell de forma que su tamaño y peso, interfaz de conexión, etc. serán factores a tener en cuenta.
- Cobertura: No todas las tecnologías pueden ser desplegadas en cualquier lugar, p.ej el despliegue de la tecnología cableada en regiones remotas puede hacer que el coste sea inviable frente a soluciones inalámbricas.
- Calidad de Servicio: La calidad del servicio puede verse directamente afectada por el tramo de conexión backhaul, por tanto para definir una calidad de servicio extremo a extremo será necesario coordinar y mantener los niveles de calidad de servicio durante todos los segmentos desde el nodo de usuario (eNodeB) hasta el Core Network del operador.
- Capacidad: Con el objetivo de que el segmento de backhaul no suponga un tramo limitante que haga de cuello de botella del tráfico de datos demandado por los usuarios. Se deberán por tanto

seleccionar conexiones de backhaul que permitan transportar las capacidades requeridas por los usuarios.

- Disponibilidad: la disponibilidad del servicio recibido por el usuario final viene determinado por todos los tramos que forman la conexión extremo a extremo. El segmento de backhaul por tanto debe mantener la robustez requerida en cuanto a disponibilidad del servicio.
- Sincronización: La sincronización en small cells es clave tanto en su comunicación con otras small cells como con la estación base. La coordinación de todas ellas permite la gestión de interferencias y gestión de handovers, parámetros como el jitter, el delay o la pérdida de paquetes en el segmento de backhaul puede impactar negativamente en la correcta sincronización y por ende en la correcta coordinación entre nodos.

## **2.5 Redes HetNet**

El concepto de redes Hetnet (Heterogeneous Network) está muy ligado a la aparición de las small cells. Las redes homogéneas están formadas únicamente por una estación base o macrocelda que es capaz de servir a todos los terminales. En el caso de las redes heterogéneas la red está formada por la combinación de estaciones bases de diferentes tipos, combinando macrocelda con estaciones pico-cells, femto-cells, hot-spot wifi etc. La combinación de todas estas estaciones base pueden contribuir a conseguir una ganancia sustancial de capacidad ya que maximizan la capacidad bit/s/Hz por unidad de área, pero precisan de un nivel importante de coordinación entre todas las estaciones bases implicadas así como una precisa gestión eficiente de las posibles interferencias.

Desde todos los sectores de la industria de tecnología móvil celular se está trabajando para conseguir un escenario de red heterogéneo lo más coordinado posible a través de diversos mecanismos de gestión avanzada de la coordinación entre estaciones base, dos de los mecanismos más importantes son los conocidos como ICIC (Inter-Cell Interference Coordination) que establece un dialogo sincronizado entre las estaciones base para evitar interferir entre ellas y SON (Self-Organizing Network) que emplea una serie de técnicas automatizadas que optimizan la planificación, gestión, configuración y auto recuperación de nodos small cells de forma coordinada con otras small cells existentes dentro del mismo rango de acción.

## **2.6 Desarrollo, despliegue y promoción de la tecnología de Small cells**

El respaldo por parte de todos los sectores de la industria en el apoyo al crecimiento y despliegue de la tecnología de small cells está siendo muy alto: fabricantes de tecnología, operadores móviles, proveedores de soluciones, integradores, organismos estandarizadores, organismos reguladores, etc. están apostando muy fuerte por el desarrollo y despliegue de esta tecnología.

Existen numerosos foros de ámbito global encargados de promocionar la tecnología de small cells, entre ellos, el más destacado es el "small cell forum" cuya principal misión es dirigir

adecuadamente la adopción de la tecnología de small cells a gran escala, y lo hace marcándose 2 objetivos claros:

- Estandarización, regulación e interoperabilidad: Se trabaja para asegurar soluciones estandarizadas, sobre entornos eficientemente regulados y a través de arquitecturas que sean lo más interoperables posibles.
- Marketing, promoción y análisis de casos prácticos: Trabajando en promover el valor y potencial de las small cells para la industria de las comunicaciones móviles, y dándolo a conocer a periodistas, analistas, grupos de interés, etc.

Para la realización del trabajo anterior se establece un esquema de trabajo organizado, multidisciplinar y contando con los operadores móviles, como se muestra en la figura siguiente:

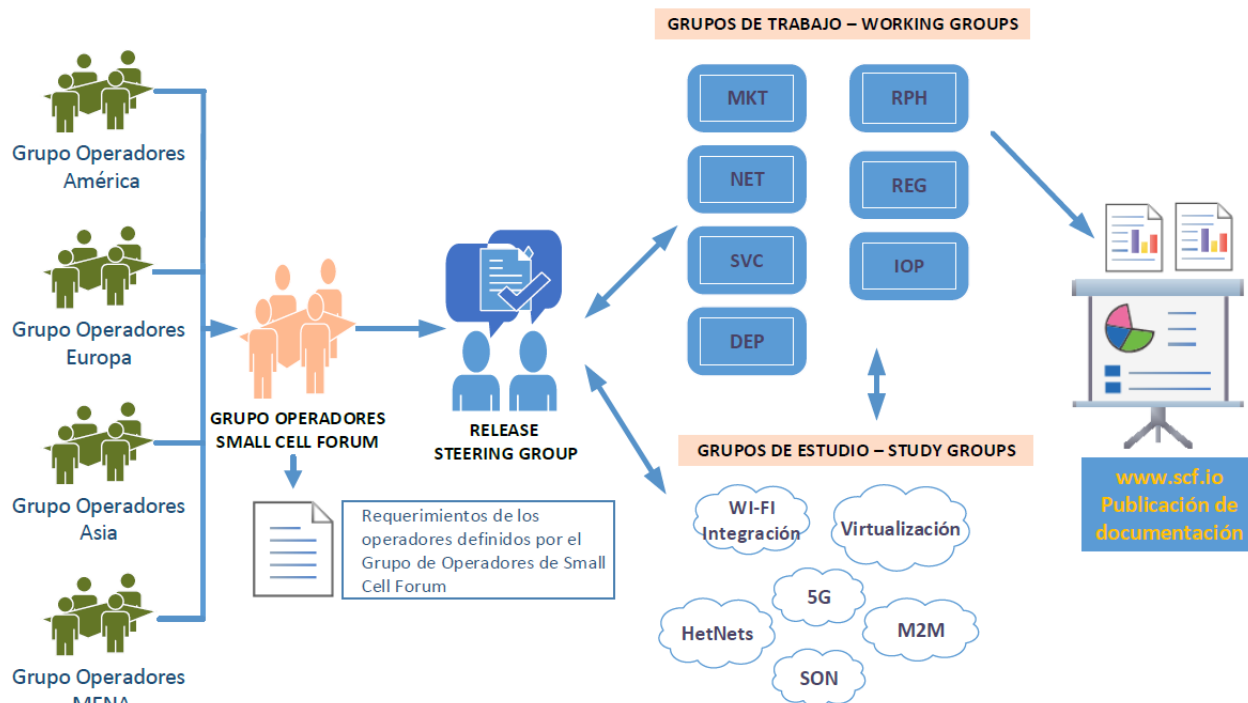


Figura 2.2. Esquema de Trabajo Small Cell Forum

La forma de trabajar de este organismo es la siguiente: Los Operadores móviles regionales informan de los requisitos que consideran necesarios para el crecimiento de sus servicios a un Grupo llamado "Small Cell Forum Operator Group", este a su vez reporta la colección de todos los requerimientos a un grupo director conocido como "Release Steering Group" el cual se encarga de coordinar a todas las sub-unidades específicas de trabajo (MKT: Marketing, RPH: Radio & Physical Layer, NET:Network, REG:Regulatory, SVC:Services, IOP:Interoperability, DEP:Deployment) que interactúan con grupos específicos de estudio (Wifi-integration, Hetnet,



Virtualization, SON, M2M, SG, etc). Tanto las sub-unidades específicas de trabajo como los grupos de estudio están formados por fabricantes referentes de la industria tecnológica (CISCO, Ericsson, Nokia, NEC, Airspain, Vodafone, BT, Huawei etc etc)

Finalmente el "Release Steering group" proporciona las aprobaciones para publicar nuevos informes/recomendaciones de los temas específicos tratados que sirven de líneas de recomendación a la industria de operadores, integradores, fabricantes etc.

El Foro cuenta también con un nutrido grupo de miembros donde están todos los referentes de la industria (más de 150 miembros, incluyendo 65 operadores)

Entre los miembros españoles podemos encontrar a la operadora de referencia de nuestro país: Telefónica y también es de destacar una empresa llamada Sistelbanda, que se encarga de desarrollar productos y soluciones innovadoras de la tecnología LTE como simuladores LTE que crean un completo ecosistema LTE, unidades encargadas de la gestión de las small cell, software, etc.

Entre los principales referentes dedicados a la industria satélite tenemos a los fabricantes Hughes e Idirect, y también a muchos otros proveedores los cuales suelen también proporcionar servicios basados en satélite y a compañías proveedores de servicios satélites como Lighsquared.

La pertenencia como miembro del SCF confiere a sus miembros una serie de beneficios:

- Liderar la industria, influenciar sobre ella e incrementar su visibilidad
- Capacidad de influencia en el desarrollo de estándares.
- Introducir elementos de trabajo y establecer la agenda para el desarrollo tecnológico.
- Acceso a todos los documentos de trabajo del Small Cell Forum.
- Derecho de voto
- Participación en eventos con contactos de la industria.
- Acceso a los datos de investigación de usuarios.
- Asistencia a reuniones y conferencias a precios reducidos.
- Permite ser elegible para participar en programas de marketing de eventos.
- Capacidad de ser elegible para la pertenencia a de la junta ejecutiva.

En el apartado divulgador, el foro también promueve la realización de eventos propios, workshops, webinars, etc y también la participación a eventos de la industria (p.ej Mobile World Congress de Barcelona).

Finalmente, como uno de los elementos divulgadores principales está su propia página web [3], donde se detalla toda la información referente al foro, los eventos destacados y se dispone de un extenso repositorio de recursos y documentación.



## **3 SISTEMA LTE**

### **3.1 Origen de LTE**

El creciente incremento del uso de datos de forma cada vez más masiva a través de dispositivos móviles por parte de los usuarios debido en parte a la aparición de diferentes aplicaciones que demandan cada vez más consumo de datos (mobile TV, Web 2.0, aplicaciones multimedia, etc.) han dado como resultado la necesidad por parte del organismo 3GPP de crear una tecnología que permitiera satisfacer las necesidades actuales de ancho de banda. De éste modo nació la tecnología LTE (Long Term Evolution), la que de momento es la evolución de las tecnologías celulares anteriores (GSM, GPRS, EDGE, UMTS)

El organismo 3GPP comenzó a trabajar en LTE en el año 2004, aunque no fue hasta 2011 cuando empezaron a entrar en servicio comercial las primeras redes basadas en LTE. En España, no fue hasta 2013 cuando las Operadoras nacionales principales empezaron a desplegar sus primeras redes LTE.

Actualmente ya se está trabajando en la evolución de LTE, LTE Advance, que supondrá una serie de mejoras que se irán poco a poco implementando sobre la base de la tecnología LTE.

En 2020 está previsto dar el salto a 5G del cual todavía solo hay objetivos de diseño, pero en el que se plantean cambios significativos respecto LTE.

### **3.2 Objetivos de LTE**

LTE ha sido diseñado para ser un sistema de alta velocidad de transmisión de datos y baja latencia. El ancho de banda máximo fijado es de 20MHz tanto para transmisión como para recepción. Uno de los principales objetivos de LTE es asegurar la compatibilidad con anteriores tecnologías a un costo reducido y con un bajo consumo de energía. También es importante la disponibilidad de características QoS extremo a extremo. Otra de las metas es que los handovers tanto dentro de LTE como con tecnologías 2G y 3G sean completamente transparentes. En la siguiente tabla se resumen las principales características de un Sistema LTE:

Métrica	Requerimiento
Velocidad máxima	DL: 150Mbps UL: 50Mbps (para un espectro de 20MHz y sin técnicas MIMO)
Soporte de Movilidad	Hasta 500km/h. Optimizado a bajas velocidades de 0 a 15km/h
Latencia del Plano de Control (Tiempo de transición al estado activo)	Menos de 100ms para pasar de idle a active
Latencia del Plano de Usuario	Menos de 5ms
Capacidad del Plano de Control	Más de 200 usuarios por celda (para un espectro de 5MHz)
Cobertura (Tamaño de las celdas)	De 5 a 100km (pequeña degradación a partir de los 30km)
Flexibilidad Espectral	1.4, 3, 5, 10, 15 y 20MHz
Modos de Operación	TDD y FDD

*Tabla 3.1. Principales Características de un Sistema LTE*

### 3.3 Arquitectura del sistema LTE

#### 3.3.1 Arquitectura general del sistema

De forma genérica, en un Sistema de comunicaciones celulares se identifican 3 elementos principales:

- **Equipo de usuario:** Dispositivo que permite al usuario acceder a los servicios que ofrece la red. El dispositivo de usuario dispondrá de una tarjeta inteligente (SIM), que contendrá la información necesaria para poder conectarse a la red y poder hacer uso de los servicios que ofrece el proveedor de servicios. El equipo de usuario se conectará a la red a través de la interfaz radio. En LTE los dispositivos de usuario se denominan eNodeB
- **Red de acceso:** Es la parte del sistema encargada de la comunicación de los equipos de usuario con la red troncal. Es responsable de gestionar los recursos radio que están disponibles de una manera eficiente. La red de acceso está formada por estaciones base. En LTE la red de acceso se denomina E-UTRAN.

- Red troncal: Es la parte del Sistema que se encarga del control de acceso a la red celular, entre sus funciones están la autenticación de usuarios, gestión de la movilidad de los usuarios, gestión de la interconexión con otras redes, control, señalización asociada al servicio de telefonía, etc. Los equipos que conforman esta red albergan funciones de conmutación de circuitos, routing, bases de datos etc. En LTE la red troncal se denomina EPC

A pesar de que los equipos que forman parte de una red LTE tienen funciones similares a las de sus análogos en tecnologías anteriores, existe un cambio conceptual en la arquitectura de red por la separación conceptual entre la red E-UTRAN (red de Acceso) y la red EPC (la encargada de transportar los datos entre los diferentes equipos del core hasta el destino). La unión de estas 2 redes es la que se conoce como EPS (Evolved Packet System)

Así mismo, uno de los conceptos clave para poder entender el cambio que LTE supone respecto a otras arquitecturas es que está basada enteramente en IP. LTE es la primera arquitectura en transportar todos los datos a través de conmutación de paquetes, incluida la voz sobre IP, lo cual significa mayor eficiencia espectral y una migración transparente desde CDMA y GSM a LTE, al igual que una mejora en las prestaciones. Este concepto está estrechamente relacionado con el uso de la red IMS (IP Multimedia Subsystem). IMS fue diseñado para el transporte de servicios multimedia sobre redes móviles basándose en un sistema all-IP. A pesar de que ya fue incluido en redes 3G, con LTE explota todas sus posibilidades.

### **3.3.2 Red de acceso evolucionada: E-UTRAN / E-RAN**

Es el fragmento de la red encargada de comunicarse con el dispositivo móvil (UE), lo cual consigue a través de su elemento principal, los eNodeB (evolved nodo B) que son las estaciones base en LTE.

- eNodeB: Los eNB contienen la capa física, MAC, RLC (Radio Link Control) y PDCP (Packet Data Control Protocol) que incluyen las funcionalidades del plano de usuario de compresión de cabecera y encriptación. También provee funcionalidades típicas del plano de control como la de RRC (Radio Resource Control), la cual se encarga del control de admisión, scheduling, cifrado y descifrado de los datos del plano de usuario y de control. El eNodeB es el único componente del segmento de red de la E-UTRAN. El resto de equipos ya forman parte de la EPC.

El eNB tiene tres interfaces, una para comunicarse con los usuarios, la segunda para comunicación con la red troncal y la tercera para comunicarse con otro eNB.

- Interface Uu: Es la interfaz radio que comunica al usuario con las estaciones base utilizando el canal radio. Todas las funciones y protocolos que se necesitan para realizar el envío de datos y controlar la interfaz se implementa en el eNB.
- Interface S1: el eNodeB se comunica a través de la interfaz S1, que a su vez se divide en otros dos, la S1-MME, que se utiliza para el plano de control y S1-U para el plano de usuario. El plano de usuario se refiere a la torre de protocolos empleada para el envío de tráfico de usuario

a través de dicha interfaz. El plano de control se refiere a la torre de protocolos necesaria para sustentar las funciones y procedimientos necesarios para gestionar la interfaz. Esta separación entre las entidades asociadas al plano de usuario y al de control permite dimensionar de forma independiente los recursos de transmisión necesarios para el soporte de la señalización del sistema y para el envío del tráfico de los usuarios.

- Interfaz X2: La otra interfaz que existe es la X2, que se utiliza para conectar los eNBs entre sí. Gracias a esta interfaz se pueden intercambiar tanto mensajes de señalización, destinados a permitir una gestión más eficiente de los recursos radio, así como el tráfico de los usuarios del sistema cuando estos se desplazan de un eNB a otro en el momento de un traspaso (handover).

### **3.3.3 Red troncal de paquetes evolucionada: EPC**

La Red EPC es la encargada de transportar los datos entre los diferentes equipos del core hasta el destino. Es una red enteramente IP (“all IP”). Está formada por 3 entidades de red, MME (Mobility Management Entity), Serving Gateway (S-GW) y el Packet Data Network Gateway (P-GW), que junto a la base de datos principal del sistema denominada HSS (Home Subscriber Server), constituyen los elementos principales para la prestación del servicio de conectividad IP entre los equipos de usuario conectados al sistema a través de la red de acceso E-UTRAN y las redes externas a las que se conecta la red troncal EPC.

A continuación se describen los elementos que forma la EPC:

- MME (Mobility Management Entity):

Es el elemento principal del plano de control de la red LTE para gestionar el acceso de los usuarios a través de E-UTRAN. Todo terminal que se encuentre registrado en la red LTE y sea accesible a través de E-UTRAN tiene una entidad MME asignada. Esta elección de MME se realiza dependiendo de varios aspectos tales como ubicación del terminal en la red, así como a criterios de balanceo de cargas. Las principales funciones de esta entidad son:

- Autenticación de los usuarios, interactuando con el HSS.
- Gestión de los bearers, encargada de gestionar la señalización que se necesita para activar, mantener, modificar y liberación de los bearers para asociar el UE a una red en particular seleccionando un SGW para la asociación inicial y la re-localización de nodos cuando se produce un handover intra-LTE.
- Gestión del seguimiento de los usuarios que se encuentran en modo idle (son terminales que no tienen establecida ninguna conexión de control con E-UTRAN pero están registrados en la red LTE)
- Señalización para el soporte de movilidad entre EPS y otras redes externas. Cuando se necesita hacer un paso de una red LTE a una red 2G/3G, provee funciones del plano de control, haciendo llegar los datos al SGSN de la red legacy.

- S-GW (Serving Gateway)

El Serving Gateway es el punto de terminación de la interfaz de los paquetes de datos que se dirigen hacia E-UTRAN, es decir, funciona como pasarela del plano de usuario entre E-UTRAN y la red troncal EPC. Al igual que la entidad MME, todo usuario registrado en la red LTE tiene asignada una entidad S-GW en la red EPC a través de la cual transcurre su plano de usuario. Las características principales son:

- Cuando el UE se mueve a través de los diferentes eNodeB el S-GW sirve como un anclaje de movilidad, de modo tal que los paquetes ruteados atraviesan este nodo para el cambio de un equipo a otro, tanto dentro de LTE como con otras tecnologías 3GPP.
- Almacenamiento temporal de los paquetes IP de los usuarios en caso de que los terminales se encuentren en modo idle.
- Encaminamiento del tráfico de usuario. Esta entidad albergará la información y funciones de encaminamiento necesarias para dirigir el tráfico de subida hacia la pasarela P-GW que corresponda y el tráfico de bajada hacia el eNB.

- PDN GW (Packet Data Network Gateway):

Es la entidad encargada de proporcionar conectividad entre la red LTE y las redes externas. Un usuario tiene asignada como mínimo una pasarela PDN-GW desde su registro en la red LTE. Las principales características de esta entidad de red son:

- Aplicación de reglas de uso de la red y control de tarificación de los servicios portadores que tenga asignado el terminal.
- La asignación de la dirección IP de un terminal utilizada en una determinada red externa se realiza desde la pasarela P-GW que corresponda
- Actúa de punto de anclaje para la gestión de movilidad entre LTE y redes externas no 3GPP (Wimax wifi, CDMA2000, etc)
- Provee características de Policy Enforcement y filtrado de paquetes para el tráfico IP que pasa por esta entidad, asociándose cada paquete IP con el usuario y servicio portador EPS que corresponda.

- PCRF (Policy and Charging Rules Function) Server:

El PCRF gestiona las políticas de servicio y las QoS de las sesiones de cada usuario del sistema. Realiza funciones equivalentes a las que los equipos de PDF y CRF realizaban en redes UMTS.

- HSS (Home Subscriber Server)

Es la base de datos principal que almacena los datos de todos los usuarios de la red. Esta entidad almacena información tanto relativa a la suscripción del usuario como la relativa a la operativa

de la red. Esta base de datos es consultada y modificada desde las diferentes entidades de red encargadas de prestar los servicios de conectividad o servicios finales (desde el MME de la red troncal y también desde servidores de control del subsistema IMS). La información que se puede encontrar almacenada en la HSS es: Identificadores universales del usuario, identificadores de servicio, información de seguridad y cifrado, información relacionada con la ubicación de un usuario en la red, etc. HSS se estandarizó en 3GPP R5 en base a la integración de dos entidades definidas en redes GSM (HLR y Auc) a las que se les han añadido funcionalidades adicionales necesarias para soportar el acceso y la operativa del sistema LTE.

### 3.3.4 Interfaces LTE

En la siguiente figura se detallan las principales interfaces de LTE:

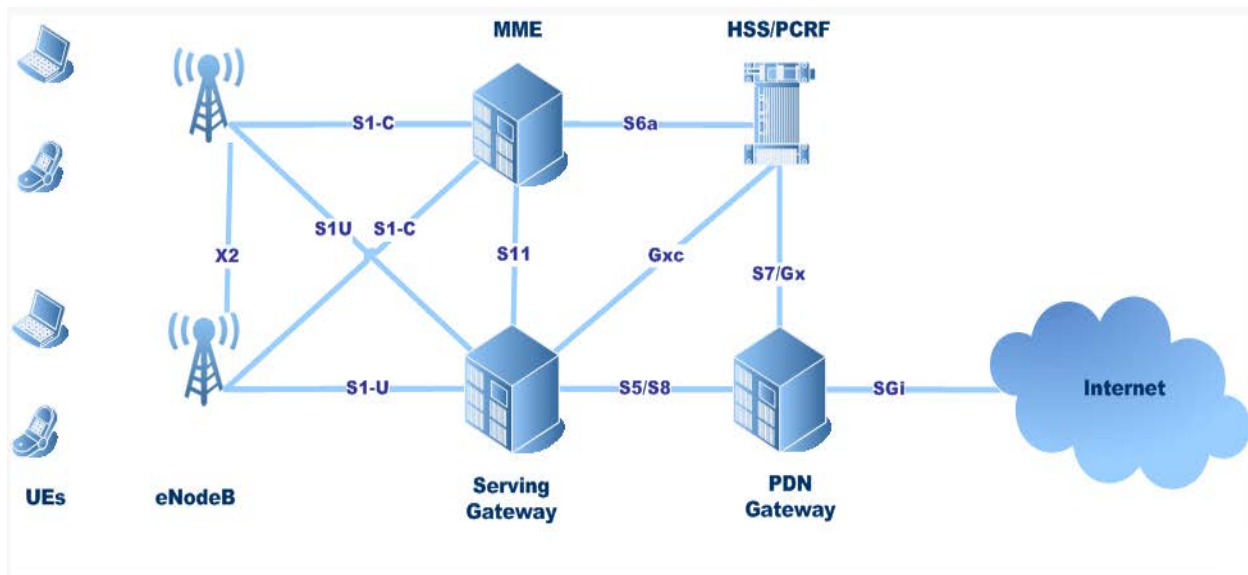


Figura 3.1. Principales Interfaces arquitectura LTE

A continuación una breve descripción de las principales interfaces de LTE, haciendo especial mención en la interfaz S1 que es la que habitualmente requiere de una conexión de backhaul:

- X2: Opcionalmente, los eNodeBs pueden conectarse entre sí mediante la interfaz X2. A través de esta interfaz, los eNodeB se intercambian tanto mensajes de señalización destinados a permitir una gestión más eficiente del uso de los recursos radio (como por ejemplo información para reducir interferencias entre eNodeBs) así como tráfico de los usuarios del sistema cuando estos se desplazan de un eNodeB a otro durante un proceso de handover.



- S1: El eNodeB se conecta a la red troncal EPC a través del interfaz S1. Dicha interfaz está desdoblada en realidad en dos interfaces diferentes: S1-MME/S1-C que provee la interfaz para el plano de control y S1-U como soporte del plano de usuario. La separación del plano de control y plano de usuario es una característica importante en la organización de las torres de protocolos asociadas a las interfaces de la red LTE. Así pues, el plano de usuario de una interfaz se refiere a la torre de protocolos empleada para el envío de tráfico de usuario a través de dicha interfaz (ej., paquetes IP del usuario que se envían entre E-UTRAN y EPC a través de S1-U). Por otro lado, el plano de control se refiere a la torre de protocolos necesaria para sustentar las funciones y procedimientos necesarios para gestionar la operación de dicha interfaz o de la entidad correspondiente (ej., configuración de la operativa del eNodeB desde la red EPC a través de S1-MME). Esta separación entre plano de control y plano de usuario en la interfaz S1 permite realizar la conexión del eNodeB con dos nodos diferentes de la red troncal. Así, mediante la interfaz S1-MME, el eNodeB se comunica con una entidad de red de la EPC encargada únicamente de sustentar las funciones relacionadas con el plano de control (dicha entidad de red de la red troncal EPC se denomina Mobility Management Entity, MME). Por otro lado, mediante la interfaz S1-U, el eNodeB se comunica con otra entidad de red encargada de procesar el plano de usuario (dicha entidad de red de la EPC se denomina Serving Gateway, S-GW). Esta separación entre entidades de red dedicadas a sustentar el plano de control o bien el plano de usuario es una característica importante de la red LTE que permite dimensionar de forma independiente los recursos de transmisión necesarios para el soporte de la señalización del sistema y para el envío del tráfico de los usuarios.
- S1-C/S1-MME: Provee la interfaz para el plano de control entre E-UTRAN y MME
- S1-U: Provee la interfaz entre E-UTRAN y el Serving GW para el transporte del plano de usuario (tunelizado) y también se encarga de la conmutación (handover) entre puntos eNodeB.
- S11: Interface de unión entre el punto MME y el Serving GW.
- S5: Provee funciones de gestión del túnel entre el Serving Gateway y el PDN gateway. Este interface es usado por el Serving GW para funciones de reasignación del UE cuando éste se mueve.
- S6a: Interfaz para las acciones de AAA (Authentication, Authorization and Accounting) del usuario que se da entre el MME y el HSS.
- SGI: Es la interfaz que comunica la red de paquetes de datos interna LTE (PDN-GW) con la red de paquetes de datos externa la cual puede ser internet, una red propia externa del operador o una red interna del operador (p.ej. la red de servicios IMS)
- Gx: Interfaz encargada de transportar las políticas de QoS e información de control de carga entre el Serving GW y el PCRF (Policy and Charging Rules Function) para realización de funciones de QoS y de balanceo de carga.

### **3.3.5 Subsistema IP multimedia**

Es un subsistema que proporciona los mecanismos de control necesarios para la prestación de servicios de comunicación multimedia que están basados en la utilización del protocolo IP a los usuarios de la red LTE.

Consiste en desplegar una infraestructura formada por una serie de elementos (servidores, bases de datos, pasarelas) que se comunicarán entre sí mediante una serie de protocolos (basados en estándares IETF) que permitirán ofrecer servicios de voz y vídeo sobre IP, mensajería instantánea, etc. El acceso a estos servicios por parte de los terminales de usuario se realiza a través de los servicios de conectividad que ofrece la red LTE. La prestación de estos servicios por parte del IMS pretende sustituir a largo plazo los servicios equivalentes ofrecidos actualmente en modo circuito.

El modelo de prestación de servicio en base al subsistema IMS se estructura en tres capas: transporte, control y aplicación.

- Capa de transporte: representa la infraestructura de la red IP, que depende de la tecnología de acceso. Proporciona el encaminamiento de los flujos IP entre terminales y demás elementos de la red.
- Capa de control: En ella se ubican los elementos especializados en la gestión de sesiones, como los servidores SIP, así como otros elementos específicos para la interacción con redes telefónicas convencionales.
- Capa de aplicación: En esta capa residen los servidores de aplicación que albergan la lógica y datos asociados a los diferentes servicios proporcionados a través de IMS. En esta capa también se presentan elementos ligados a otras plataformas de servicios como redes inteligentes.

### **3.3.6 Equipos de usuario**

Es el equipo que permite al usuario conectarse a la red LTE y hacer uso de los servicios que proporciona a través de la interfaz radio. La arquitectura funcional de un equipo de usuario es la misma que se definió para GSM y UMTS.

El equipo de usuario (User equipment, UE) contiene dos elementos básicos: un módulo de subscripción del usuario (SIM/USIM) y el terminal móvil propiamente dicho (ME-Mobile Equipment).

- Módulo de subscripción de usuario: La SIM/USIM está asociada a un usuario y por tanto es quien le identifica dentro de la red independientemente del equipo móvil utilizado. La separación entre SIM y ME facilita que un usuario pueda cambiar de terminal sin necesidad de cambiar de identidad, de SIM.

- El equipo Móvil (ME): En él se integran las funciones propias de comunicación con la red celular, así como las funciones adicionales que permiten la interacción del usuario con los servicios que ofrece la red.
  - Terminación móvil (MT): alberga las funciones propias de la comunicación
  - Equipo Terminal (TE): Equipo que se ocupa de la interacción con el usuario.

### 3.4 Virtualización del EPC y del nodo RAN en Small Cells

Como se ha visto en anteriores apartados de este capítulo, la arquitectura de red de un sistema LTE implica una serie de equipamiento tanto en la parte RAN, como sobretodo en la parte del Core o EPC. Este equipamiento obliga a unas inversiones en infraestructura de hardware (equipamiento y servidores) para formar el sistema de comunicaciones completo, este hardware además es normalmente propietario así como el software integrado en él, lo cual, su adquisición, supone unos costes importantes.

Virtualización implica pasar de una red basada en hardware a otra basada en software. Esta aproximación implica importantes ventajas: Escalabilidad, eficiencia, flexibilidad, ciclos de renovación más cortos, así como una significativa reducción de costes tanto en infraestructuras de hardware como de software lo que repercute directamente en las operadoras y proveedores de servicios e indirectamente en los usuarios. En la actualidad, toda la industria relacionada con la promoción de LTE y Small Cells, está analizando las implicaciones que supone la virtualización tanto del Core Network como de la parte RAN. La discusión se centra en ver las ventajas e inconvenientes de un modelo u otro así como analizar si se debe hacer virtualización completa extremo a extremo o bien solamente virtualización parcial de ciertas funciones.

En una red LTE se pueden identificar dos grandes bloques susceptibles a ser virtualizados, por un lado, el bloque de elementos que componen la EPC (Core Network) y por otro lado la parte de elemento que conforma el bloque RAN. Se analizarán en detalle las ventajas y desventajas de la virtualización de cada uno de los bloques:

- Virtualización del EPC. El bloque EPC en LTE se compone de varios elementos: Security GW, HNBGW & EPC, MME, S-GW, HSS/PCRF, PDN/GW. Cada uno de estos elementos habitualmente ejecuta sus funciones en un hardware independiente. Lo que pretende la virtualización es que todas las funciones de todos o de parte de los elementos EPC en vez de ejecutarse en diferentes máquinas lo haga en una única máquina que concentre la función de todos o parte de ellos de forma virtual y a través de servicios software, además esta máquina puede ubicarse en cualquier punto y no necesariamente en la instalación del Operador. Las ventajas de esto son evidentes:
  - Se reducen los costes de equipamiento hardware, se reduce el consumo de alimentación y se promueve el modelo de economía de escala.

- Se reducen los tiempos respecto un esquema que necesite construir y distribuir equipamiento hardware.
  - Se promueve la compartición del hardware para diferentes aplicaciones, y diferentes usuarios.
  - Se pueden determinar clasificaciones basados en grupos de usuarios, por localización, etc.
  - Los servicios pueden ser flexible y rápidamente incrementados o decrementados en función de las necesidades de cada momento, además de forma dinámica y controlable remotamente.
  - Se desacopla el hardware del software. Es decir, no hay que adquirir nuevo hardware para realizar ampliaciones o mejoras sino que todo se hace vía software.
- Virtualización del RAN. En el caso del RAN, el esquema es parecido. Sin embargo, en LTE el RAN solo está compuesto por la estación base, en este caso por la small cell (ENodeB). Este nodo se encarga de gestionar todas las funciones y protocolos necesarios para realiza el envío de datos y controlar la operativa del acceso, formando una especie de eco-sistema de acceso sobre ella misma. Así como también la interrelación con otros nodos small cells y con las estaciones base pico-celdas y macro-celdas. La virtualización del bloque RAN, implicaría que los nodos small-cell fueran nodos "tontos", es decir, sin ninguna función más que la de recoger los datos que le llegan de los dispositivos móviles (Ue). Una vez cada small cell recoge los datos no hace ningún tipo de procesado, sino que los envía a una unidad centralizada ubicada también en el nodo RAN que cuenta con toda la lógica decisora y que recibe toda la información de todas las small cells por lo que se pueden aplicar muchas técnicas de optimización, como gestión de interferencia entre celdas, adaptaciones dinámicas, multiplexación estadística, MIMO, etc. Estas técnicas que serían muy complejas de implementar en un esquema distribuido tradicional se facilitarían muchísimo a través de un esquema centralizado. Por tanto las ventajas que se identifican son:
- Se puede virtualizar todo el conjunto de Nodos RAN en un nodo “data center” por lo que el control de la carga de funciones y procesados es más fácilmente controlable al estar centralizado.
  - Se simplifica el acceso radio ya que el eNodeB no toma ninguna función decisora, porque la traspasa al nodo centralizado.
  - Se facilitar la coordinación entre nodos small cells al pasar todos ellos por el nodo central.

En definitiva, la virtualización del RAN (también llamada Cloud RAN o Centralized RAN) también implica una serie de ventajas evidentes, aunque no está exenta de retos y dificultades, especialmente por los requerimientos de BW en la comunicación de los nodos con la unidad centralizada que supondría un esquema como este.

### 3.5 Nivel físico LTE

En este apartado se definen los fundamentos más importantes de nivel físico que se implementan en el sistema LTE y que permiten alcanzar mayores niveles de capacidad y eficiencia en el uso de los recursos radio que los sistemas predecesores. En el enlace descendente se usa la técnica de acceso múltiple denominada OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) y para el enlace ascendente, la técnica denominada CS-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access).

- **OFDMA:** La técnica de acceso múltiple OFDMA que se utiliza en el enlace descendente en el sistema LTE ofrece la posibilidad de que los diferentes símbolos modulados sobre las subportadoras pertenezcan a usuarios distintos. Por tanto, es posible acomodar varias transmisiones simultáneas correspondientes a diferentes flujos de información al viajar en portadoras diferentes. El acceso múltiple se consigue dividiendo el canal en un conjunto de subportadoras que se reparten en grupos en función de la necesidad de cada uno de los usuarios. El sistema se realimenta con las condiciones del canal. Si la asignación se hace rápidamente, se consigue cancelar de forma eficiente las interferencias co-canal y los desvanecimientos. En la siguiente figura se muestra una representación del espectro de la señal OFDMA. No es necesario que las subportadoras estén contiguas, los símbolos de un usuario pueden estar distribuidos sobre subportadoras no contiguas.

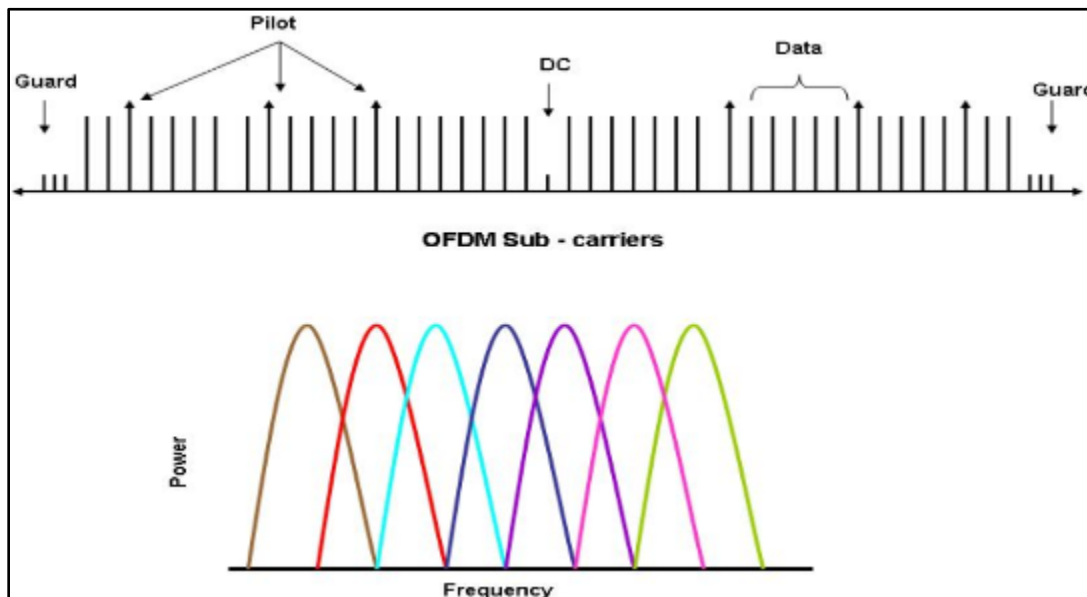


Figura 3.2. Representación espectro señal OFDMA

- Ventajas de OFDMA:

- Diversidad multiusuario: La asignación de subportadoras se realiza de manera dinámica. Como el canal de radio presentará desvanecimientos aleatorios en las diferentes subportadoras, y que serán independientes de cada usuario, se puede intentar seleccionar para cada subportadora el usuario que presente un mejor estado del canal, es decir, el que perciba una mejor relación señal a ruido. Con esto se consigue una mayor velocidad de transmisión y una mayor eficiencia espectral. A este modo de actuar se le denomina scheduling.
- Diversidad frecuencial: Es posible asignar a un mismo usuario subportadoras no contiguas, separadas suficientemente como para que el estado del canal en las mismas sea independiente.
- Robustez frente al multitrayecto: A través de la utilización de prefijos cíclicos se puede combatir la distorsión mediante técnicas de ecualización en el dominio de la frecuencia lo que hace de esta técnica muy robusta frente a la interferencia intersimbólica (ISI) resultante de la propagación multitrayecto.
- Flexibilidad en la banda asignada: Esta técnica de acceso múltiple proporciona una forma sencilla de acomodar diferentes velocidades de transmisión a los diferentes usuarios en función de las necesidades de servicio requeridas por cada usuario, simplemente asignando más o menos subportadoras a cada usuario.
- Granularidad en los recursos asignables: Al dividir la banda total en un conjunto elevado de subportadoras de banda más estrecha que se asignan dinámicamente a los usuarios, se dispone de una elevada granularidad a la hora de asignar más o menos recursos a cada uno, con lo que facilitará la adecuación de los servicios con diferentes requisitos de calidad.
- Elevado grado de utilización de la banda asignada: Gracias a OFDM la transmisión multiportadora se consigue con una separación mínima entre subportadoras, existiendo superposición entre ellas.
- Sencillo de implementación en dominio digital: Gracias al uso de la transformada rápida de Fourier (FFT e IFFT)

- SC-FDMA:

En el sistema LTE se ha optado por utilizar la técnica OFDMA para el enlace descendente porque en la estación base se implementan técnicas que incrementan la complejidad computacional para reducir el PAPR (Peak to average power ratio) de la señal OFDMA, además que no es tan crítica la eficiencia ni el coste de los amplificadores de potencia. Sin

embargo, en el terminal del usuario sí que es crítico reducir el consumo de potencia y conseguir por lo tanto una gran eficiencia en el amplificador, por lo que se ha optado por una técnica de acceso de portadora única.

SC-FDMA se basa en unos principios de transmisión muy similares a los de OFDM, pero en este caso se efectúa una precodificación de los símbolos que se van a transmitir previos al proceso de transmisión OFDM, lo que permitirá reducir las variaciones en la potencia instantánea y consiguientemente reducir el PAPR de la señal para así poder ahorrar energía (batería) en el terminal móvil.

- **MIMO:**

El sistema MIMO utiliza múltiples antenas tanto para recibir como para transmitir. Una transmisión de datos a tasa elevada se divide en múltiples tramas más reducidas. Cada una de ellas se modula y transmite a través de una antena diferente en un momento determinado, utilizando la misma frecuencia de canal que el resto de las antenas. Debido a las reflexiones por multitrayecto, en recepción la señal a la salida de cada antena es una combinación lineal de múltiples tramas de datos transmitidas por cada una de las antenas en que se transmitió.

Las tramas de datos se separan en el receptor usando algoritmos que se basan en estimaciones de todos los canales entre el transmisor y el receptor. Además de permitir que se multiplique la tasa de transmisión (al tener más antenas), el rango de alcance se incrementa al aprovechar la ventaja de disponer de antenas con diversidad.

La teoría de la capacidad inalámbrica, extiende el límite de Shannon, en el caso de utilización de esta tecnología. Este resultado teórico prueba que la capacidad de transmisión de datos y rango de alcance de los sistemas inalámbricos MIMO se puede incrementar sin usar más espectro de frecuencias. Este aumento es de carácter indefinido, simplemente utilizando más antenas en transmisión y recepción. MIMO requiere la existencia de un número de antenas idéntico a ambos lados de la comunicación.

### **3.6 Conceptos básicos de la interface radio**

- **Capa Física:**

La capa física de la interfaz radio del sistema LTE se basa en la utilización de técnicas de acceso múltiple OFDMA en el enlace descendente y SC-FDMA en el enlace ascendente. En los 2 casos, la separación entre subportadoras es fija e igual a 15KHz. En la siguiente tabla se muestra el número de subportadoras en la canalización del sistema LTE:

Canalización	1,4MHz	3MHz	5MHz	10MHz	15MHz	20MHz
Tamaño FFT	128	256	512	1024	1536	2048
Nº de Subportadoras disponibles	73	181	301	601	901	1201

*Tabla 3. 2. Número de Subportadoras en Canalización LTE*

La capa física del sistema LTE está diseñada para que opere en las bandas altas de UHF, es decir, por encima de los 450MHz y hasta los 3.5GHz. El estándar define hasta 40 posibles bandas de operación para trabajar en modo duplexión por división en frecuencia (FDD) o en modo duplexión por división en el tiempo (TDD).

Los posibles esquemas de modulación para el enlace descendente son: QPSK, 16-QAM y 64-QAM, y para el ascendente: QPSK, 16QAM y 64QAM dependiendo de la capacidad del terminal móvil.

Si se utilizan técnicas MIMO (2x2, esto es, 2 antenas en el transmisor y 2 antenas en el receptor) y una canalización de 20MHz se podrían alcanzar velocidades de transmisión de pico a nivel de capa física de 150Mbps en el enlace descendente y de 75Mbps en el ascendente.

- Bloque de recursos físicos:

Se denomina PRB (Physical Resource Block), al mínimo elemento de información que puede ser asignado por el eNB a un terminal móvil. Un PRB ocupa 180KHz de banda equivalente a 12 subportadoras equi-espaciadas 15KHz entre ellas y en él se transmiten 6 o 7 símbolos OFDMA, dependiendo de la longitud del prefijo cíclico. La duración de un PRB es de 0,5ms, es decir la duración de un slot o ranura de tiempo.

En la siguiente tabla se muestra el número de PRBs en función de la canalización:

Canalización	1,4MHz	3MHz	5MHz	10MHz	15MHz	20MHz
Número de PRBs	6	15	25	50	75	100

*Tabla 3. 3. Número de PRBs en función de la canalización*

Destacar que el número de portadoras disponibles está relacionado con el número de PRBs en cada canal. Por lo tanto, el número de subportadoras es 12 veces el número de PRBs más una, ya que se considera la subportadora central que no se utiliza para transmitir información, en la siguiente figura se puede ver una representación gráfica de este esquema:



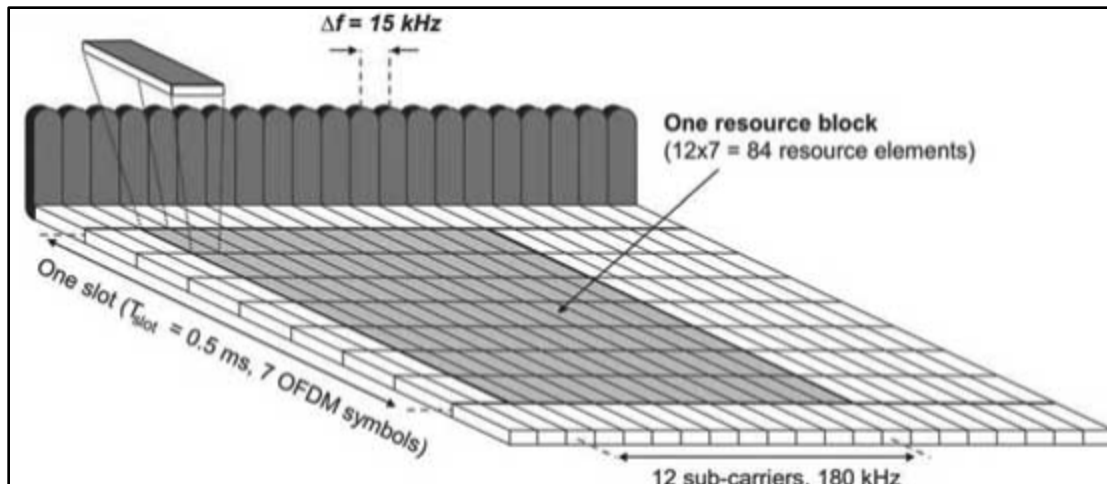


Figura 3.3. Bloque de Recursos Físicos Señal OFDM

En un PRB tenemos 7 símbolos con 12 subportadoras asociadas a cada uno de ellos, por lo que tenemos en total 84 recursos donde introducir los símbolos QPSK, 16-QAM y 64-QAM. Considerando la modulación de mayor eficiencia espectral, 64-QAM en la que se transmiten 6bits/símbolo, dentro de un PRB podemos enviar un total de 504bits cada 0,5ms, lo que nos ofrece una velocidad bruta de transmisión pico de aproximadamente  $R_b, PRB = 504\text{bits}/0,5\text{ms} \sim 1\text{Mbps}$ .

En la siguiente tabla se resumen las velocidades de pico en función de la canalización. Estos cálculos se han realizado sin tener en cuenta los mecanismos MIMO. Si se tienen en cuenta, en el caso de 2x2 se podría estimar que las velocidades de pico pueden llegar a ser el doble, por lo que se confirma que en la interfaz radio del sistema LTE se pueden alcanzar los 150Mbps en el enlace descendente en el caso del canal de 20MHz

Canalización	1,4MHz	3MHz	5MHz	10MHz	15MHz	20MHz
Velocidad de pico Total (Mbps)	~ 6	~ 15	~ 25	~ 50	~ 75	~ 100
Velocidad de pico disponible para usuario (Mbps) (15% de los recursos destinado a control y señalización)	~ 5,1	~12,8	~ 21	~ 42,5	~ 63,7	~ 85

Tabla 3.4. Velocidades teóricas alcanzables según canalización espectral



## 4 SISTEMAS DE BANDA ANCHA SATÉLITE

### 4.1 Origen y evolución de las comunicaciones de datos por satélite

Los primeros registros que se tienen de envío de datos por satélite datan de 1973, cuando desde un Telepuerto de la compañía Noruega Norsar ubicado en la ciudad sueca de Tanum se consiguió enviar datos a través del satélite “Nordic” al centro americano de análisis de datos sísmico (SDAC) ubicado en Virginia (EEUU). La capacidad de transmisión registrada fue de 2.4kbps.

Tras esta primera conexión de datos vía satélite, comenzó un interés creciente en que el satélite podría suponer un medio adecuado para conexiones internacionales. Desde ARPA (Advanced Research Projects Agency), se comenzó a investigar en la creación de una red satélite interatlántica. En 1975, la idea tomó forma y se constituyó el programa SATNET, como una derivación de ARPANET para satélite, cuyo propósito era crear una red que permitiera alcanzar tasas de hasta 64kbps. El programa fue evolucionando a través de compañías y universidades Americanas: Linkabit Corporation (San Diego), Universidad de California, Communications Satellite Corporation (COMSAT) en Maryland, Bolt Beranek and Newman (BBN) en Boston, Inglesas (University College London) y Noruegas (FFI – Norwegian Defense Research).

En los años siguientes, las comunicaciones de datos por satélite continuaron creciendo, paralelamente a ellas el desarrollo de los orígenes de Internet también siguió evolucionando, en 1978, se desarrolla el protocolo TCP/IP. En 1982 Noruega se conecta a ARPANET vía TCP sobre SATNET.

En 1990 ARPANET deja de existir dando paso a INTERNET y en 1991 Tim Berners-Lee presenta oficialmente el World Wide Web.

En 1993 comenzó su andadura el proyecto DVB, que entre sus tareas estaba la de desarrollar un conjunto de especificaciones para la transmisión digital por satélite. Ese mismo año vio la luz el estándar DVB-S para proporcionar comunicaciones digitales broadcast por satélite, el estándar, en origen no estuvo pensado para la transmisión de datos, pero se realizaron las adaptaciones necesarias para que se pudieran transmitir datos IP sobre los paquetes MPEG a través de las técnicas de encapsulación.

Los enlaces satélite para datos siguieron creciendo durante la década de los 90 pero a un ritmo bajo, sobre esquemas poco eficientes (basados en SCPC), tasas de ancho de banda reducidas, muy costosos y restringidos a usos muy específicos.

No fue hasta el año 2002 con la aparición de estándar DVB-RCS cuando se produjo una verdadera transformación en las comunicaciones de datos IP por satélite.

El estándar DVB-RCS en conjunción con DVB-S se proyectó con la finalidad de promover el desarrollo de Sistemas capaces de proporcionar Servicios IP multimedia bidireccionales y enteramente por satélite basados en acceso eficiente TDM/TDMA. Entre sus objetivos estuvo la de ser un estándar abierto, contar con capacidades de servicio equivalentes a las redes terrestres y todo a través de terminales de usuario low cost y antenas VSATs de tamaños reducidos. Los primeros terminales que operaban sobre el estándar DVB-RCS eran capaces de alcanzar tasas máximas de hasta 2Mbps en el enlace de subida y hasta 4 Mbps en el de descarga.

Desde la publicación del estándar DVB-RCS en 2001, el estándar fue consolidándose, dando paso a una creciente industria con la aparición de numerosos sistemas basados en esta tecnología y sobre los que se empezaron a desplegar cientos de miles de terminales VSAT en todo el mundo. En marzo de 2011 la segunda generación del estándar (DVB-RCS2) fue publicada introduciendo numerosas mejoras significativas en cuanto a eficiencia y prestaciones.

Hoy día, la industria de la banda ancha por satélite está muy consolidada, hay millones de usuarios por todo el mundo que disfrutan de servicios de banda ancha gracias a la conectividad satélite, las tasas que se alcanzan se asemejan a las de la tecnología terrestre, e incluso las superan.

En los próximos años la tecnología seguirá avanzando, y es de esperar que sea participe de la revolución social que Internet está produciendo en nuestro mundo.

## **4.2 Plataformas de banda ancha por satélite**

Una plataforma de servicios de banda ancha es un sistema que permite dotar de conectividad IP a terminales remotos a través de tecnología satélite. Se compone básicamente de 2 partes que funcionan en topología punto a multipunto, por un lado, las estaciones remotas (VSATs) que funcionan como puntos de acceso y proporcionan conectividad IP a sus usuarios y por otro lado, el nodo central, también llamado HUB o GW cuya misión principal es concentrar todo el tráfico que llega de las estaciones remotas y derivarlo a través de la red terrestre a un POP (Punto de Presencia) el cual tiene interconexión y acceso a los servicios requeridos por los usuarios (Servidores, Servicios, Internet, VoIP, redes corporativas, etc.)

### **4.2.1 Terminales remotos (VSATs)**

Los terminales remotos, son básicamente puntos de acceso (modems-routers) que proporcionan conectividad bidireccional de datos IP a los usuarios que se conectan a él. Se componen de los siguientes elementos:

- **Modem:** Es el dispositivo que proporciona una interface Ethernet para proporcionar conectividad de datos. Las prestaciones de un módem satélite son equivalentes a las de cualquier router IP convencional con posibilidad de alcanzar velocidades desde unos pocos kbps hasta cientos de Mbps en los dispositivos más avanzados. En términos IP, los modems satélites actuales tienen todas las prestaciones básicas y avanzadas de un router basado en

tecnología terrestre (DHCP, NAT/PAT, DNS caché, IGMPv2, SIP, DiffServ, VLANs, RIPv2, Rutas estáticas, IPV6, etc). Además de la interfaz Ethernet, el modelo cuenta con un interfaz coaxial que lo conecta con los elementos receptor y transmisor de la antena VSAT, por un lado se conecta vía cable coaxial al dispositivo externo receptor LNB desde el que recibe la señal del satélite, la cual demodula, para finalmente extraer la información IP de recepción. Del mismo modo a través de otro cable coaxial se conecta a la unidad externa transmisora (BUC) a la cual envía los datos modulados para su transmisión a satélite.

- **LNB:** Un LNB (low noise block) es un dispositivo externo capaz de recibir las señales electromagnéticas moduladas procedentes del satélite. El LNB recibe la señal satélite en frecuencias elevadas banda KU (10,7 – 12,75GHz) o banda KA (26.5-40GHz) y las convierte a frecuencias en Banda L (950-2300MHz). Una vez la señal es convertida a banda L pasa a ser demodulada por el modem que finalmente es capaz de extraer la información. La característica principal del LNB es que es un dispositivo con factor de ruido muy bajo (entre 0.1-1db) lo que contribuye en no impactar negativamente en la relación C/N.
- **BUC:** Un BUC (block up converter) es un dispositivo externo utilizado para la transmisión de señales de comunicaciones vía satélite. El BUC recibe la señal del modem previamente encapsulada y modulada y realiza una conversión en frecuencias del rango de la banda L (950-2300MHz) al rango de frecuencias en banda KU/KA. La característica principal del BUC es su potencia de transmisión en el punto de compresión 1dB, la cual puede ser desde unos pocos watos hasta varias decenas. Lo normal para una VSATs de tipo residencial es de 1 a 4W. El valor de potencia del BUC se elige dependiendo de los requerimientos del balance del enlace satélite.
- **OMT:** BUC y LNB normalmente están conectados a través de un dispositivo común llamado OMT (Ortomodo Transducer) que básicamente es un duplexor de polarización, es decir separa en 2 caminos independientes la señal de recepción y transmisión las cuales están polarizadas ortogonalmente.
- **Antena:** La antena es el dispositivo encargado para transmitir o recibir las ondas electromagnéticas a/desde el satélite. En el caso del satélite lo más común es la utilización de antenas de tipo parabólica dada su directividad y mayor ganancia. Las antenas típicamente se seleccionan de tipo offset con el fin de ser capaz de superar posibles obstáculos en el ángulo de elevación. El tamaño habitual de las antenas para servicios rurales y remotos va desde los 60cm hasta los 1.2m. Las antenas satélite también cuenta con una bocina que se encarga de recibir/transmitir las ondas ortogonales desde su conexión con el OMT. En los últimos tiempos se está avanzando mucho en el desarrollo de antenas planas para la utilización sobre servicios satélite ya que su factor de forma es más compacto lo que las hace ideales para su instalación sobre vehículos (aviones, barcos, vehículos terrestres). Las antenas planas todavía presentan problemas de aislamiento contrapolar y ganancia, pero poco a poco se van corrigiendo y ya hay en el mercado soluciones perfectamente válidas para su uso en servicios de banda ancha por satélite.

## **4.2.2 HUB – Gateway**

Un HUB no es más que un conjunto de subsistemas cuya finalidad principal es la de concentrar todo el tráfico que llega de la red de estaciones remotas VSATs y derivarlo a través de la red terrestre a un POP el cual tiene interconexión a los servicios solicitados por el usuario (red Internet, red telefónica básica conmutada, red celular, etc). El HUB es una estructura modular que se compone de los siguientes subsistemas:

### **4.2.2.1 Subsistema de recepción**

El Subsistema de recepción del HUB es la unidad capaz de concentrar y procesar la recepción de todas las señales RF que son enviadas desde todos los terminales remotos. El esquema de acceso que usan los terminales remotos en la transmisión es un esquema MF-TDMA, y por tanto el HUB desde el subsistema receptor tiene que ser capaz de demodular correctamente las diferentes señales que van llegando en los diferentes slots de tiempo. El subsistema de recepción es capaz de demodular señales (QPSK, 8PSK, 16QAM) sobre varios rangos de FEC y simbol rates que habitualmente van desde 128ksps hasta 6Mps. El estándar de recepción utilizado puede ser DVB-RCS o bien estándar propietario.

### **4.2.2.2 Subsistema de transmisión**

El Subsistema de transmisión del HUB es capaz de concentrar y procesar el envío de toda la información hacia todos los terminales remotos siguiendo un esquema de conexión basado en TDM. Desde el Subsistema de transmisión se modula una portadora completa la cual se transmite a las remotas siguiendo un esquema DVB-S2 ACM. Cada una de las remotas recibe toda la portadora DVB-S2 completa, pero solo demodulan la información correspondiente a cada una de ellas. El HUB es capaz de modular portadoras con esquemas desde QPSK hasta 32APSK y sobre multitud de rangos FEC, a una velocidad de transferencia de símbolo hasta los 67Mps lo que permite tasas de transferencia de hasta 250Mbps.

### **4.2.2.3 Subsistema de referencia**

Las VSATs se encuentran distribuidas en localizaciones geográficamente distintas, eso provoca que los retardos existentes entre el Hub y los terminales sean diferentes para cada VSAT. De acuerdo al mecanismo que utiliza el HUB para asignar los recursos de capacidad basada en TDM/TDMA, se hace necesario que el HUB conozca con gran precisión estos retardos. Por ello, el HUB cuenta con un preciso sistema de sincronismo, que proporciona la información de referencia temporal y frecuencial tanto a las VSATs como a los demás elementos del HUB determinando en cada momento la asignación de capacidad que corresponde a cada VSAT.

#### 4.2.2.4 Subsistema de gestión

El Subsistema de Gestión se encarga de los procesos relacionados con la correcta gestión del todo el sistema, entre sus funciones principales están:

- Control del estado de todos los elementos del HUB: El subsistema de gestión controla que todos los elementos del HUB están operando correctamente, si detecta que algún equipo entra en fallo, automáticamente es capaz de conmutar a la unidad de respaldo para recuperar el servicio.
- Control de los terminales remotos: los terminales remotos envían continuamente en tiempo real información de estado (logs) que es procesada por el subsistema de gestión de forma que en todo momento el subsistema de gestión puede saber el estatus de todos los terminales remotos que forman la red.
- Almacenamiento en Base de datos: El subsistema de gestión también mantiene una base de datos para guardar toda la información de relevancia del sistema y de la red de forma que se pueda extraer con posterioridad información de estado de los terminales (históricos) así como también restaurar el sistema a una configuración anterior tras la realización de cambios.

#### 4.2.2.5 Subsistema IP

El subsistema IP se compone de equipos de nivel 3 (routers) y equipos de Nivel 2 (switches). Se emplean redes VLANs como mecanismo para diferenciar de forma organizada los distintos tipos de tráfico y flujos IP existentes en el HUB. El Subsistema IP desarrolla varias funciones de gran relevancia dentro del HUB:

- Se encarga de enrutar todo el tráfico de los usuarios (VSATs) que se reciben del subsistema de Retorno y redirigirlo a través del Router de Acceso (access router) que da acceso a las redes terrestres (Internet, RTBC, Servicios, Intranets, etc)
- Se encarga, asimismo de la operación inversa, es decir, de recibir el tráfico que proviene de las redes terrestres y transmitirlo al subsistema FLS para hacerlo llegar a las VSATs.
- Permite conectar vía IP todos los equipos, de forma que puedan transmitirse datos de señalización interna entre ellos
- Otras operaciones de valor añadido, como la conformación de los flujos de tráfico, mecanismos de seguridad, firewall, gestores VoIP, gestión de DHCP, servicio de NAT/PAT, servicios de tunelización, QoS etc. también son implementadas a través de equipamiento de Nivel 3.

#### **4.2.2.6 Subsistema RF**

Se encarga por un lado de distribuir la señal IF (de frecuencia intermedia o banda L) a los demás elementos del HUB y por otro lado se encarga de la recepción y transmisión de las señales radio desde y hacia el satélite.

Se compone de:

- Antena: Ubicada en el Telepuerto y cerca del HUB. Suele ser de gran tamaño y elevado factor de G/T para favorecer el balance del enlace en la conexión con los usuarios remotos.
- LNB: Es un dispositivo receptor y conversor de frecuencias: Recibe la señal de los usuarios procedentes del satélite normalmente en Banda Ku o Ka y es convertido a una banda inferior típicamente Banda L. La señal recibida la transfiere al Subsistema de recepción del HUB que se encarga de demodularla y extraer la información, datos IP, de los usuarios.
- HPA: Es un amplificador de alta potencia que se encarga de transmitir a satélite la señal recibida del subsistema de transmisión del HUB, que básicamente es una portadora modulada DVB-S2 que contiene toda la información de tráfico y señalización a enviar a las VSATs. Para la transmisión de la señal modulada primero convierte la señal de Banda L a Banda Ku/Ka antes de ser finalmente enviada al medio radioeléctrico.

#### **4.2.2.7 Subsistema de conformación de tráfico**

Este sistema, también llamado “traffic shaping” o “packet shaping”, incluye una serie de mecanismos para controlar el tráfico IP de la red. Entre sus objetivos está la de aplicar perfiles concretos a cada uno de los servicios de usuarios configurados en el sistema a través del establecimiento de los parámetros MIR (Maximum information Rate) y CIR (Commitment information rate). Asimismo fija políticas de calidad de servicio, filtrado de protocolos, bloqueo de tráfico no deseado por diversos criterios (protocolo, ip, puerto, etc.). Otro de sus objetivos importantes es la de evitar la sobrecarga de la red, de modo que se alcanza una mejor eficiencia en la red mientras se mantienen los objetivos de QoS y se asegura el flujo de datos configurado en el sistema.

#### **4.2.2.8 Subsistema de “Enhancement”**

La tecnología satélite en su evolución ha desarrollado mecanismos que mejoran las prestaciones básicas del servicio, estos mecanismos se implementan en el subsistema de enhancement que puede estar formado por una o varias máquinas ubicadas en el HUB, entre los principales mecanismos tenemos:

- Aceleración TCP: el retardo existente debido al tiempo de propagación en las comunicaciones por satélite impacta directamente en el rendimiento de protocolos como TCP. El protocolo



TCP es el protocolo de transporte utilizado mayoritariamente en Internet, es un protocolo orientado a conexión, lo cual significa que garantiza que los datos serán entregados en su destino sin errores. Para ello se basa en un mecanismo de ACKs que el receptor utiliza para confirmar al emisor que la transferencia de datos se ha realizado correctamente. El emisor no sigue enviando datos hasta que el receptor no confirma de la correcta recepción. De esta manera el emisor va poco a poco incrementando su velocidad de envío hasta llegar un punto en el que el receptor no puede procesar a más velocidad y lo reporta al emisor que reduce su tasa de transferencia hasta equilibrarla en el punto de máxima velocidad de envío sin errores. En el caso satélite este proceso de confirmación de datos se ve impactado por el elevado tiempo de propagación (600ms RTT) lo cual implica que el emisor reciba los ACKs con mucho retardo lo que se interpreta por parte del emisor como una situación de congestión y por tanto no incrementa su velocidad de transferencia. Con el fin de corregir este defecto, se ha diseñado un mecanismo en el que el propio terminal satélite remoto de forma local, se auto-envía las respuestas ACKs de forma que se engaña al protocolo TCP y se aumenta la ventana de envío y por tanto la tasa de transferencia. Con este mecanismo, llamado “spoofing TCP” se consigue mitigar en parte el efecto del delay en satélite no obstante dado que las páginas web cada vez tienen mayor número de objetos y la descarga de los mismo es secuencial, se producen retardos acumulativos que hace que las páginas web tarden en descargar hasta 10 veces más que lo que tarda habitualmente la descarga de una página web en otra tecnología.

- Prefetching: Es un mecanismo que consiste en intentar anticipar las acciones del usuario para conseguir ofrecer una sensación de mayor velocidad. En el caso del prefetching web, cuando un usuario remoto del servicio satélite abre una página web, una vez que la página web ha cargado completamente, el sistema de forma paralela, empieza a descargar parcial o totalmente los links relacionados con esa página de forma que si el usuario accede a uno de esos links precargados lo hará bajo una sensación de mayor velocidad, porque ya se hizo una precarga previa. En ocasiones solo se hace prefetching de determinados objetos (texto, imágenes, o prefetching de resolución dns de los links asociados a la página.
- Caché web en el HUB: El HUB puede contar entre sus sistemas con un servidor de caché web. Este servidor almacena localmente en un equipo integrado en el HUB copias de las webs que los usuarios han demandado en el pasado, de forma que las subsiguientes peticiones pueden ser respondidas por el propio caché sin necesidad de tenerlas que buscar al servidor original. La ventaja de este mecanismo es que se reduce el tiempo de carga de páginas web ya que no es necesario que las peticiones recorran el tramo (Hub – Servidor web), ya que el HUB ya es capaz de servir las desde el propio servidor caché web local.
- FUP: Los mecanismos FUP (Fair usage Policy), son mecanismos diseñados para prevenir de un uso masivo de los recursos de ancho de banda satélite por parte de los usuarios que concurren en la red. En satélite, el BW es un recurso que es significativamente más limitado que en otras tecnologías por lo que se deben emplear mecanismos que controlen que los usuarios hagan un uso razonablemente eficiente del mismo. Para ello, las políticas FUP limitan de alguna manera el consumo de los recursos. El mecanismo más habitual es la del establecimiento de “cuotas” que consiste en limitar el consumo de ancho de banda fijando un volumen de datos de descarga/subida máximo (p.ej 5Gbytes) durante una franja de tiempo que normalmente se fija a 1 mes. Cuando el usuario dentro del intervalo de tiempo especificado supere el volumen fijado, el servicio se interrumpe y no puede seguir haciendo uso del servicio.

El efecto de este mecanismo es bastante importante y permite unos ahorros de BW totales en el sistema bastante considerables. No obstante, este tipo de limitaciones es bastante rechazado por los usuarios, es por ello que hayan aparecido nuevas versiones FUP más livianas y flexibles. Entre ellas está, la posibilidad de comprar Gbytes de consumo, la opción de seguir funcionando pero a una velocidad más reducida o la posibilidad de definir franjas horarias donde el consumo de cuota no es contabilizado, este mecanismo conocido como “freezone” permite al usuario hacer consumo sin contabilización de cuota en horarios fuera de horas cargadas, típicamente por las noches.

- **Compresión:** La compresión de los datos consiste en una reducción en origen del volumen de datos con el fin de emplear una menor cantidad de espacio durante la transferencia y luego se realiza la descompresión en destino para obtener la información de partida. En satélite, al ser el ancho de banda más limitado que en otras tecnologías, el valor de la compresión es importante con el fin de enviar menor cantidad de datos por el canal satélite y así ahorrar capacidad. Las técnicas más comúnmente utilizadas son la compresión de cabeceras IP, la compresión de cabeceras de paquetes RTP (Real time protocolo, ej: Voip) y la compresión web que reduce el tamaño de algunos objetos como por ejemplo imágenes.

## **4.3 Canales de comunicación satélite**

### **4.3.1 Canal forward**

El canal FW es el que se establece para transportar la información desde el HUB hasta las estaciones remotas, prácticamente todas las plataformas de banda ancha de todos los fabricantes de HUB implementan el estándar DVB-S2 para el canal forward. Las características principales del estándar DVB-S2 son:

- Soporta como entrada flujos de datos de distinta naturaleza y formato.
- Sistema de codificación de canal basado en LDPC (Low Density Parity Check) y códigos BCH (Bose – Chaudhuri -Hocquenghem, códigos cíclicos de corrección de errores múltiples)
- Rango de tasas de codificación FEC desde  $\frac{1}{2}$  hasta  $\frac{9}{10}$
- Soporta hasta cuatro constelaciones (QPSK, 8PSK, 16APSK y 32APSK), que pueden desarrollar una eficiencia espectral desde 2 a 5 bits/Hz
- Soporta hasta tres factores de roll-off: 0.35, 0.25, 0.2
- Soporta ACM (Adaptative Coding and Modulation), VCM (Variable Coding and Modulation) y CCM (Constant Code and Modulation)
- Soporta encapsulado de datos IP sobre MPEG-4 y MPEG-2

### 4.3.2 Canal retorno

El canal de RTN es el que se establece para transportar la información desde las estaciones remotas hasta el HUB. En este caso los fabricantes utilizan versiones basadas en DVB-RCS / DVB-RCS2, pero por lo general incluyen adaptaciones y mejoras propietarias. Básicamente las características del canal de retorno basadas en DVB-RCS-2 son:

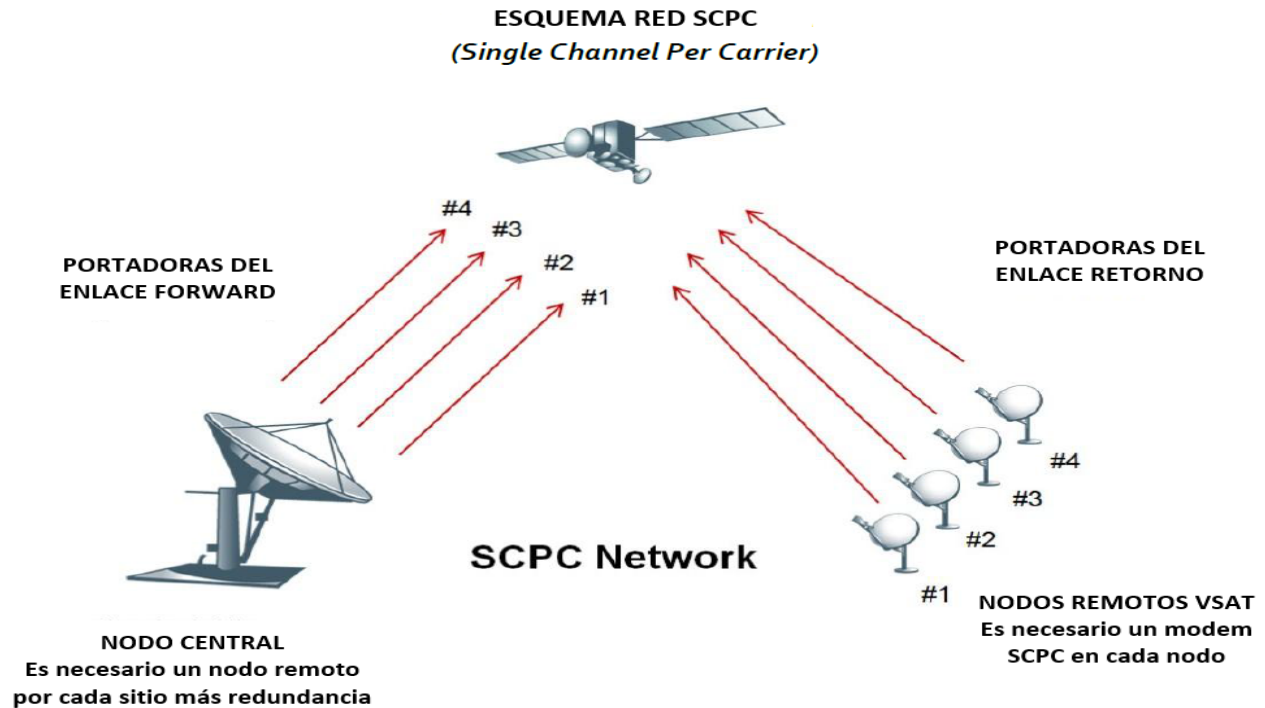
- Esquema de acceso: basado en TDMA, portadora continua o acceso aleatorio
- Esquemas de Modulación: BPSK, QPSK, 8PSK, 16QAM
- Codificación de canal: Turbo código de 16 estados
- Soporta adaptación en el enlace de retorno
- Seguridad: soporta mecanismos de seguridad
- Eficiencia: DVB-RCS2 es hasta un 30% más eficiente que DVB-RCS

## 4.4 Métodos de acceso TDM/TDMA vs SCPC

TDM/TDMA y SCPC son las dos técnicas principales que se utilizan en el despliegue de redes de banda ancha por satélite hoy en día.

### 4.4.1 SCPC

SCPC usa una portadora dedicada por cada terminal remoto de la red para recibir la información desde el nodo central y usa otra portadora dedicada para cada VSAT para transmitir la información de vuelta. Ambas portadoras son moduladas en “modo continuo”. En lo que respecta a las técnicas de codificación se suele usar alguna tecnología propietaria ya que SCPC no está estandarizado. La siguiente figura muestra un enlace entre 4 remotas:



*Figura 4.1. Esquema de red SCPC*

En el siguiente apartado veremos el esquema basado en TDM/TDMA.

#### 4.4.2 TDM/TDMA

En el sentido Forward, es decir desde el HUB hacia los terminales, se usa una única portadora TDM de alta capacidad que es transmitida desde el HUB a los terminales. En este caso, el estándar utilizado más comúnmente es DVB-S2 que tiene la ventaja de que permite de forma flexible multiplexar en una misma portadora múltiples flujos de tráfico para cada uno de los diferentes terminales de destino, además soporta el esquema de modulación ACM (Adaptative Coding and Modulation). ACM es capaz, de forma dinámica, de ajustar la modulación y codificación del enlace de forma virtual para cada VSAT individualmente según las condiciones cambiantes de la VSAT (interferencia, atenuación por lluvia, etc.).

En el sentido retorno, desde las VSATs hasta el nodo central, cada una de las VSATs está perfectamente sincronizada entre ellas y con el HUB, de forma que realizan las transmisión de los datos en modo “burst” dentro de una serie de pequeños slots de tiempo y siguiendo un orden temporal sincronizado marcado por el HUB. Los slots de tiempo para transmitir son asignados a cada VSAT de forma exclusiva basadas en los requerimientos y configuración de cada una de ellas. Este esquema de funcionamiento es conocido como TDMA dinámico, y es la forma más avanzada de TDM/TDMA y está completamente estandarizado por el grupo DVB a través de los estándares DVB-RCS.

En las redes TDM/TDMA es común definir varias portadoras de retorno TDMA que son compartidas por todas las VSATs dinámicamente y son vistas como un único gran pool de portadoras agregadas, esto permite que la capacidad total de retorno para compartir entre todas las VSATs se pueda flexiblemente incrementar añadiendo nuevas portadoras adicionales de retorno.

En los Hubs más avanzados, las portadoras TDMA de retorno pueden operar a diferentes symbol rates (p.ej desde 500kbps hasta 5Mbps). En ese caso el sistema controla cuando la VSAT accede a una u otra portadora y durante cuánto tiempo. Este mecanismo es aplicado también de forma dinámica por el sistema que detectará en cada momento según la configuración y estado de cada VSAT cuál debe ser su portadora y durante cuánto tiempo debe acceder a ella. El sistema realiza los cálculos de asignación basado en la configuración en tiempo real de las VSATs en términos de condiciones meteorológicas, condiciones interferentes, link budget dado por el tamaño de la antena y la potencia del BUC, así como las políticas de servicio (MIR configurado para la VSAT)

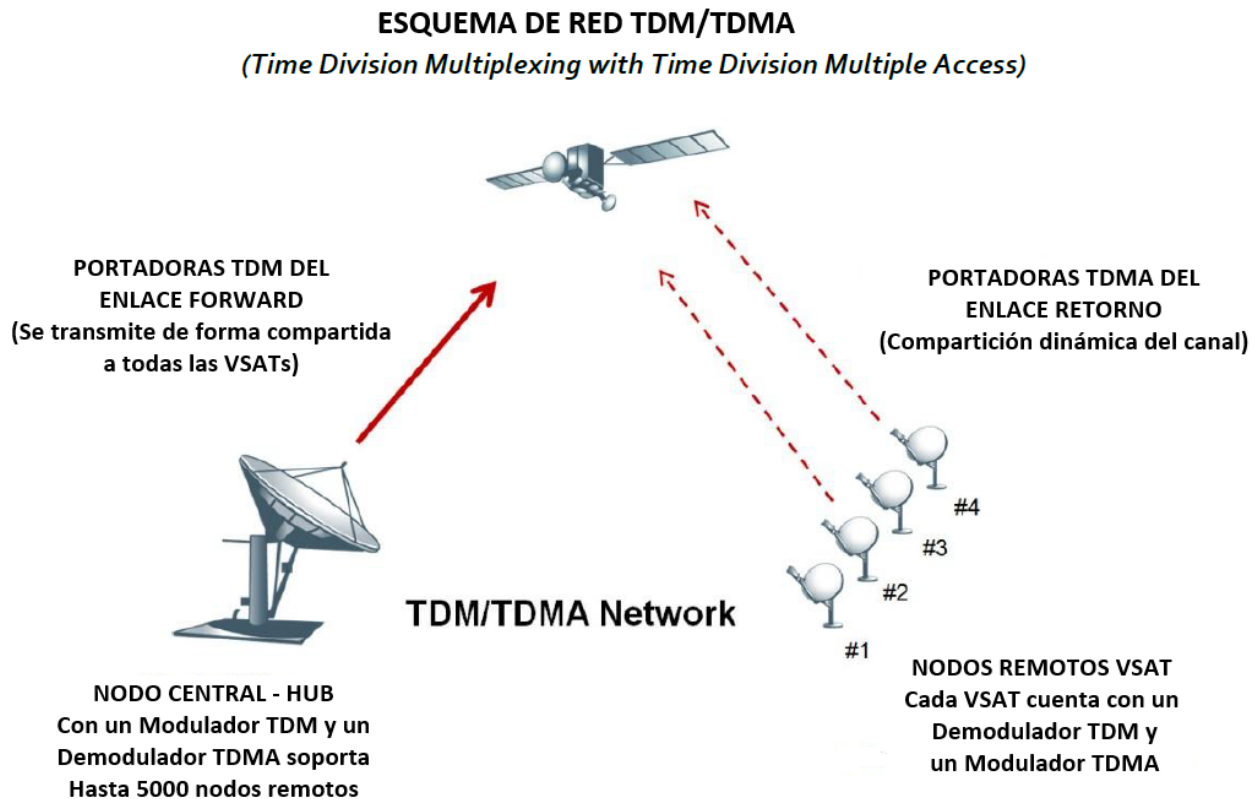


Figura 4.2. Esquema de Red TDM/TDMA

#### 4.4.3 Comparativa

Hoy en día los esquemas basados en TDM/TDMA superan para casi todos los tipos de redes que se puedan configurar a los basados en SCPC no solo en eficiencia sino también en capacidad del enlace y en disponibilidad.

Teniendo en cuenta los cálculos de costes, se puede decir que el esquema SCPC es únicamente más ventajosa en términos económicos que un esquema TDMA para el caso de redes compuestas por pocos terminales y donde los requerimientos de ancho de banda satélite no sean muy elevados (solamente unos pocos MHz). Para redes mayores, más o menos a partir de 20 terminales y mucha capacidad MHz satélite el uso de los esquemas basados en TDM/TDMA supondrán una reducción de costes OPEX considerable respecto SCPC. En estos casos, de redes grandes, los requerimientos de BW del transpondedor se pueden reducir desde un 50% hasta un 80%. En la figura siguiente se muestra un análisis de los costes TCO para el caso de una red SCPC (azul) VS TDMA (rojo) en función del número de VSATs que compongan la red.

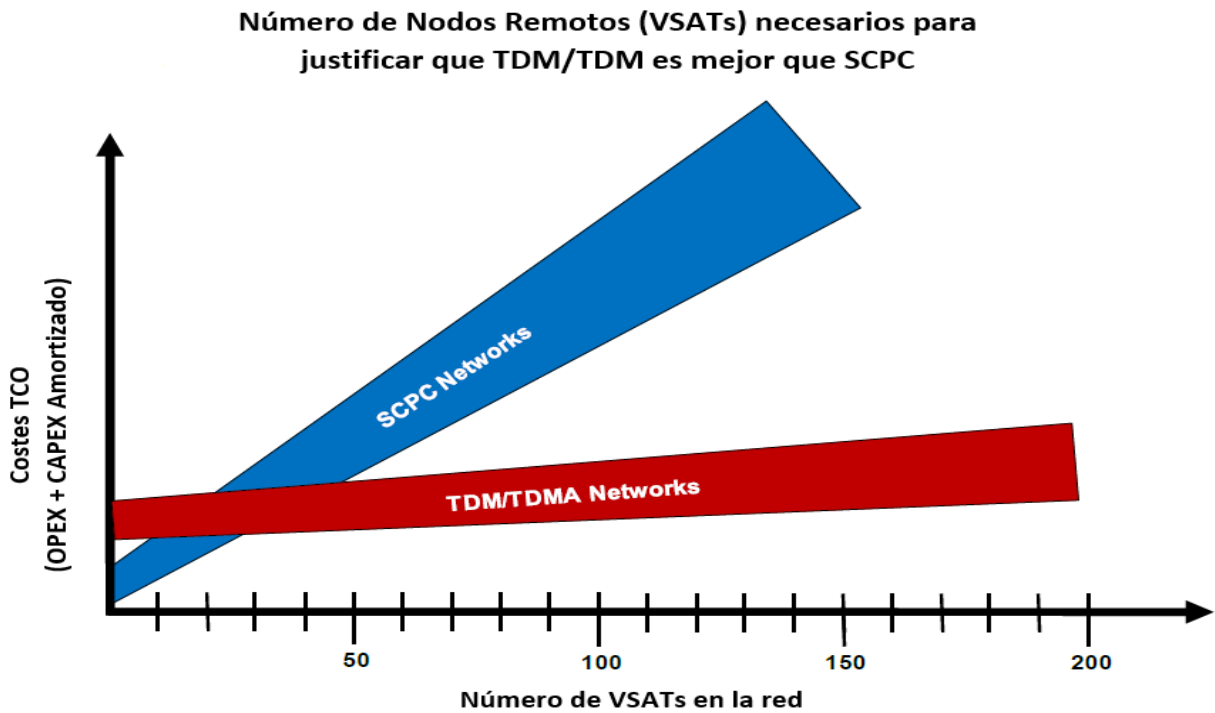


Figura 4.3. Análisis Costes TCO Comparativa SCPC Vs TDMA

En el análisis anterior, como se observa, el aumento de costes OPEX por mayor requerimiento de BW a medida que la red crece en número de terminales es significativamente más alto en el caso SCPC que en el caso TDMA. La ineficiencia en el uso del BW dedicado a medida que crece el número de terminales penaliza enormemente a la solución SCPC que solo es competitiva para redes pequeñas de pocos terminales donde la inversión CAPEX que hay que hacer en TDMA para la compra de un HUB no llega a compensar el mayor gasto en OPEX de SCPC.

#### 4.4.4 Multiplexación estadística

Una de las principales razones por las que los esquemas TDM/TDMA se han ido imponiendo a los basados en SCPC en la última década es debido a la gestión que se hace por TDM/TDMA del tipo de tráfico demandado por los usuarios el cual se caracteriza por ser variable, a ráfagas y basado en la demanda instantánea de cada usuario. Tal comportamiento se puede ver en el tráfico web, el mail, o la mensajería instantánea, etc. Esto tiene como resultado lo que se conoce como ganancia por efecto de la multiplexación estadística. Esta ganancia puede reducir considerablemente el ancho de banda agregado necesario para toda la red hasta en un factor de 10 o más dependiendo del patrón de consumo que hagan los usuarios, lo cual implicaría que las necesidades de BW dedicado de capacidad total del transpondedor satélite (factor OPEX) se podrían reducir hasta en un factor de 10 veces en TDMA en comparación con lo que requeriría un esquema basado en SCPC.

#### 4.5 Órbitas y retardo de propagación.

Los satélite artificiales de comunicaciones se pueden ubicar principalmente sobre 3 órbitas: GEO, MEO y LEO cada una de las cuales presenta una serie de ventajas e inconvenientes en la prestación de servicios comerciales, es especialmente importante el parámetro de la distancia a la tierra de cada una de las órbitas ya que se relaciona directamente con el retardo que toman los paquetes IP en su recorrido en alcanzar el satélite. Este retardo tiene un impacto importante en las prestaciones de los servicios IP implementados ya que el protocolo de transporte de Internet, TCP, pierde optimización a medida que el enlace de transporte presenta un retardo mayor.

- Características Órbitas GEO:
  - Los satélites que se ubican en la órbita GEO se encuentra a una distancia de 35876km sobre la tierra. Su órbita es circular y su periodo de rotación coincide exactamente con el de la tierra (86164seg)
  - Sus ventajas principales son:
    - Se trata de una tecnología desarrollada y consolidada.
    - Gran estabilidad de la señal, el efecto doppler es mínimo y las interferencias que puede presentar son predecibles.
    - Presentan buena visibilidad y solo 3 satélite son suficientes para cubrir prácticamente todo el globo terrestre.
  - Sus desventajas principales son:
    - Presenta un retardo considerable debido al tiempo de propagación en recorrer la distancia desde la tierra al satélite.
    - Alto coste de lanzamiento.

- Alto coste de uso de satélite de reserva.
  - Elevadas pérdidas de enlace.
  
- Características Órbitas MEO:
  - Los satélites comerciales que se ubican en la órbita MEO se encuentran a una distancia entre 10000 y 30000km respecto la tierra.
  - Sus ventajas principales son:
    - Tienen menores pedidas que los satélites GEO.
    - Los retardos estarían por debajo de 100ms.
    - Presenta una visibilidad aceptable, 6-10 satélites son suficientes para presentar cobertura global.
  - Sus inconvenientes principales son:
    - Presenta menos estabilidad de señal que en el caso GEO por efecto doppler y variabilidad de la señal.
    - Requiere gestión de traspasos.
    - La arquitectura de red es más compleja que en el caso de satélites GEO.
    - Se trata de una tecnología poco establecida.
  
- Características Órbitas LEO:
  - Los satélites comerciales en órbita LEO se ubican a una distancia entre 250 y 1000km respecto la tierra.
  - Sus ventajas principales son:
    - Presenta bajas pedidas respecto las órbitas superiores.
    - Precisan de terminales en tierra más pequeños.
    - Los retardos son mínimos (<10ms).
    - Presenta un uso eficiente del espectro.
    - No requiere de redundancia (constelaciones).
    - Lanzamiento y satélites son de bajo coste.
  - Sus inconvenientes principales son:
    - Precisa de una constelación de muchos satélites para cubrir la totalidad del globo.
    - Señal variable, presenta multitrayecto y efecto doppler.



- Es necesario reemplazar los satélites ya que sufren de gran desgaste por la velocidad a la que orbitan.
- Visibilidad breve y elevación variable, necesitan de solapamiento de los haces.
- Puesta en órbita de toda la constelación toma tiempo porque puede estar formada por hasta cientos de satélites.
- Se trata de una tecnología poco establecida y cuya arquitectura de gestión puede ser compleja.

#### **4.6 Retos de las comunicaciones de banda ancha por satélite**

En la actualidad la utilización de la tecnología satélite para proporcionar servicios de datos IP de banda ancha requiere todavía de importantes evoluciones. Hoy día prácticamente todos los satélites existentes están optimizados para la entrega de servicios de televisión digital. Quedan todavía muchos retos por resolver para posicionar al satélite como tecnología para proporcionar servicios de banda ancha con la calidad y prestaciones adecuadas. Un primer paso ha sido el lanzamiento reciente de los nuevos satélites llamados HTS (High Throughput Satellite) diseñados específicamente para proporcionar servicios IP. Ka-sat, Viasat 1, Huges-Jupiter son satélites que suponen una apuesta clara hacia la prestación de servicio IP. Pero todavía quedan retos importantes que abordar y que se detallan a continuación.

- Disminución del precio por Mbps: Tradicionalmente el precio del Mbps dedicado en satélite ha sido muy caro, lo que ha supuesto una barrera importante para su despliegue, no obstante, en los últimos años el precio ha descendido de forma dramática. Hace tan solo unos años, en 2005, el precio por Mbps dedicado ascendía a unos 5000€ 10 años después, en 2015, el precio del Mbps están en aproximadamente 500€, es decir diez veces inferior, no obstante, todavía está muy por encima del precio de otras tecnologías. La razón del precio tan alto se debe a la capacidad muy limitada de BW que genera un transpondedor. En banda Ku, los transpondedores habituales de 36MHz generan normalmente unas capacidades de 120Mbps (con codificación 32APSK-3/4) lo que implica que para amortizar el coste del transpondedor, la capacidad disponible se debe comercializar a un precio elevado. En los últimos años, varias técnicas y tecnologías han hecho descender drásticamente el precio por Mbps. La más importante es la utilización de la tecnología en Banda Ka con “spots beams” que permiten la reutilización de frecuencias. Esta tecnología permite la utilización de transpondedores de 250MHz y reutilización de frecuencias lo que permite alcanzar capacidades de hasta 450Mbps por transpondedor que sumado a la reutilización de los “spots beams” puede multiplicar hasta por 10 veces la capacidad disponible para una región.
- Reducción del delay: Uno de los grandes factores limitantes en los servicios de banda ancha prestados a través de los satélites Geoestacionarios es el elevado delay. El delay RTT (Round trip time) de una conexión satélite está en los 600ms, frente a delays de 20-50ms de conexiones terrestres. El actual protocolo de comunicación TCP usado masivamente en Internet se ve muy penalizado en su rendimiento cuando existe un elevado delay en el canal. En términos de experiencia de usuario implica que la descarga de una página web con muchos objetos puede

emplear hasta 10 veces más tiempo en una conexión satélite respecto conexiones de otras tecnologías. En un intento de mitigar este efecto, los fabricantes de tecnología satélite han desarrollado algunos mecanismos que mitigan en parte este efecto (aceleración-spoofing TCP, prefetching, técnicas de tunelización, caching, etc.) , las cuales han supuesto ligeras mejoras pero todavía lejos de ofrecer la experiencia de carga similar a las redes terrestres. Por tanto, este sigue siendo uno de los principales retos a los que se enfrentan hoy día los servicios sobre tecnología satélite. En los últimos años, una de las líneas que se está investigando es la de desarrollar algún protocolo de transporte específico que permitan reducir los tiempos de carga de páginas web en entornos de elevada latencia. Uno de los proyectos que está teniendo mayor seguimiento es el proyecto SPDY [4]. Este protocolo a diferencia de TCP (que abre múltiples sesiones/conexiones TCP por cada objeto de la página web), utilizaría una sola conexión para manejar varias peticiones HTTP a la vez de manera concurrente, lo que evitaría la acumulación de delays que se da en TCP. El problema es que es necesario que tanto el servidor como el cliente manejen este protocolo y en la actualidad TCP está muy extendido por lo que es complicado impulsar la integración también de este nuevo protocolo de transporte.

Una forma más efectiva de conseguir mitigar el delay es a través de utilizar órbitas que se encuentren más cercanas a la tierra (órbitas MEO o LEO)

- En la órbita GEO estacionaria el satélite se encuentra a 36.000km de altura. Esto significa que el tiempo que tarda un paquete en llegar a satélite sería de: Tiempo de propagación =  $36000\text{km}/300000\text{kms} = 120\text{ms}$ , luego en volver nuevamente a tierra supondrían otros 120ms, en total 240ms de RTT.
- En la órbita MEO, el satélite se encuentra a unos 10000km de altura, lo que significa que el tiempo RTT se reduce a 66ms.
- En el caso de la órbita LEO, el satélite se encuentra a unos 1000km de altura, lo que significa que el tiempo RTT se reduce a solamente unos 6,6ms.

En definitiva

No es casualidad por tanto que los últimos proyectos planificados de satélites HTS para proporcionar servicios de banda ancha por satélite a alta velocidad y compatibles con los requerimientos de tecnologías como LTE estén basados en constelaciones ubicadas en órbitas GEO o MEO. Estos proyectos, en términos de prestaciones estarían al mismo nivel o incluso con ratios de delay inferiores que tecnologías terrestres.

- Reducción del tamaño de las antenas: Otra de las limitaciones importantes que ha presentado históricamente la tecnología satélite está en el tamaño de sus antenas (típicamente antenas parabólicas de 0.96m a 1.2m). Los nuevos satélites basados en órbitas LEO podrían ser una solución para este problema ya que al ubicarse en una órbita más cercana a la tierra se disminuirían considerablemente las pérdidas por propagación en el espacio libre. Entre tanto los satélites en banda KA basados en spot beams ya han conseguido una ligera reducción del tamaño de las antenas al presentar valores de PIRE de satélite más elevados que los presentados por los satélites en banda KU. En definitiva, antenas más pequeñas supone, reducción de coste,

facilidad de instalación, y en definitiva mayor acceso a más mercados: residencial, movilidad (SOTOM-Satcom on the move), remotos, emergencias, etc.

- Aprovechamiento de la capacidad broadcast del satélite para datos: La capacidad que tienen los satélites de hacer llegar contenido de televisión digital a multitud de puntos vía broadcast tiene un uso muy extendido con las plataformas de televisión digital por satélite, pero dicha capacidad de transmisión broadcast del satélite no es aprovechada de forma alguna para la transmisión de datos. En los próximos años va a haber una explosión de la demanda de servicios de video (en formato IP). El reto no consiste en quedarse solo en hacer llegar el contenido al televisor en formato DVB-S2, hay que dar el salto al mundo IP y llegar no solo a los TV, sino también a móviles y tabletas y todo ello manteniendo la capacidad broadcast inherente al satélite. Es por ello que la industria satélite está trabajando en cómo encajar esta nueva necesidad de video de alta calidad que ni siquiera las redes móviles tienen capacidad de prestar con suficiencia ya que el video supone mucho consumo de datos y gestionar muchos canales de vídeo en tiempo real para muchos usuarios al mismo tiempo podría generar un nivel elevado de congestión de la red de datos móviles. Como un primer paso, en la última feria NAB 2015 de Las Vegas [5], varios líderes del sector de los satélites de comunicaciones entre los que se encuentran SES e Hispasat, anunciaron estar trabajando conjuntamente con fabricantes de dispositivos (Nagra, Panasonic, Maxlinear, Ali) para desarrollar una innovadora tecnología conocida como Sat>IP. Esta tecnología convierte la señal de satélite que llega al receptor de un hogar a formato IP en el mismo punto de recepción gracias a un pequeño conversor que además es capaz de distribuir vía Wifi el contenido a los diferentes dispositivos domésticos IP como tabletas, smartphones y portátiles. Esta tecnología permite ofrecer contenidos vía satélite de alta calidad en formato IP en todas las pantallas del hogar de una forma más eficiente que utilizando otro tipo de redes. De igual modo este esquema podría integrarse y complementar a la red LTE para transmitir de manera eficiente contenidos de vídeo en 4k en móviles, tableta, lo cual sería imposible de transmitir desde red móvil e incluso desde red ADSL. De hecho, nuevos servicios como OTT (Over-the-top content) no podrían ser prestados sin la utilización de esquemas híbridos ya que salvo algunas fibras urbanas de muy alta capacidad no sería sostenible desde una sola tecnología proporcionar el 100% de la capacidad requerida por un servicio OTT.



## 5 CARACTERIZACION BACKHAUL CELULAR 3G/LTE DE SMALL CELLS POR SATELITE

### 5.1 Introducción

En este capítulo se describen los aspectos y características más importantes de la tecnología de backhaul satélite para el despliegue de servicios 3G y LTE a través de Small Cells. Esta caracterización completa de la tecnología presenta todos los aspectos que definen al segmento de backhaul satélite desde su arquitectura y equipamiento hasta sus características específicas más relevantes, también se dedica un apartado que trata de analizar posibles tecnologías que se presentan como competencia del satélite. Finalmente un último apartado describe los puntos clave que hacen de la solución de backhaul satélite un producto viable económicamente.

### 5.2 Arquitectura del Sistema

La siguiente figura representa la arquitectura básica de un sistema basado en red de small cell con conexión a la red troncal (Core Network) del Operador a través de una conexión de backhaul satélite. Como se puede observar el enlace satélite sirve simplemente de interconexión entre la parte correspondiente a la red de acceso E-UTRAN con el core del operador EPC. Por tanto el interface LTE que se corresponde con el enlace de backhaul satélite es el interfaz S1. A esta conexión de backhaul también se le conoce como RAN backhaul.

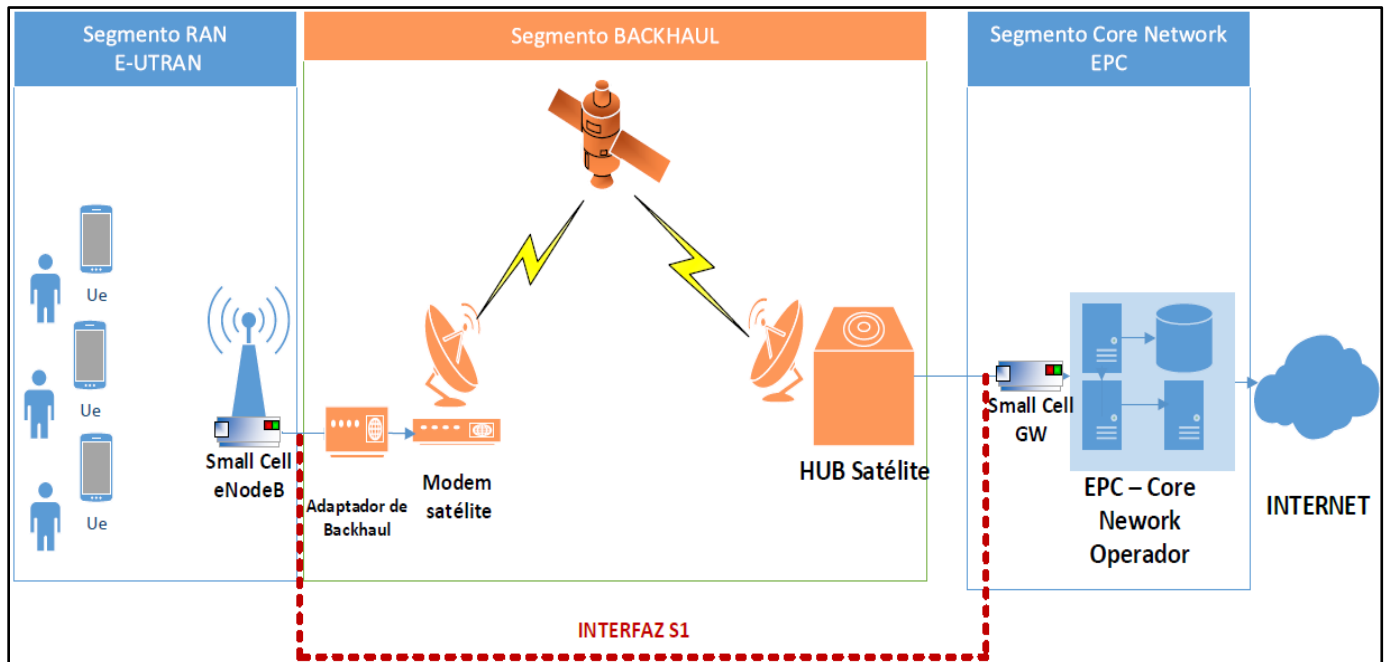


Figura 5.1 Arquitectura Backhaul Satélite de Small Cell

### 5.3 Equipamiento

De acuerdo al esquema presentado en el anterior apartado, el equipamiento de la arquitectura completa es la siguiente:

- Segmento RAN/E-UTRAN
  - Small Cell eNodeB: Es el dispositivo que se encarga de funcionar como estación base para todos los terminales móviles (Ue) que se encuentren en su rango de cobertura.
- Segmento Backhaul satélite:
  - Adaptador de Backhaul: Como paso previo a que los datos de tráfico y de señalización de todos los usuario que provienen de la small cell sean transmitidos por la conexión de backhaul satélite, un dispositivo adaptador realiza una serie de acondicionamientos para que el flujo IP sufra el menor impacto posible en el segmento satélite debido a los efectos negativos que provocan los parámetros de elevada latencia, jitter variable y pérdida de paquetes. Alguna de las funciones que se implementan en este adaptador se describen a continuación:
    - Fusionado de paquetes: El enlace satélite funcionará de manera más óptima si se fusionan los paquetes IP de pequeño tamaño que genera la small cell en paquetes más grandes de forma que se puede maximizar la MTU y se reduce el número total de paquetes a enviar por el canal satélite. Los paquetes necesitarán ser divididos de nuevo una vez se salga del segmento satélite.
    - Tunelización UDP: La tunelización de los paquetes IP del tráfico de los usuarios en un túnel UDP maximiza la transmisión por el canal satélite a la vez que facilitar el procesado por ser UDP un protocolo más simple que TCP.
    - Procesado IPSec: Cuando sea necesario mantener la seguridad de las comunicaciones en el plano de usuario sobre el segmento satélite, se podrá implementar un túnel IPSec el cual se basa en protocolo UDP. En el caso de la señalización del plano de control, esta viene por defecto securizada desde la Small Cell por un túnel IPSec.
    - Aceleración TCP: En el caso de que se precise hacer el envío en formato TCP para aprovechar las funciones de protocolo de transporte orientado a conexión, se utilizarán mecanismos que minimicen el efecto de la latencia tales como supresión de ACKs y control de ventana TCP.
    - Compresión de Voz y Datos: es posible reducir el tamaño de los paquetes de voz vía compresión de los mismos, esta operación de compresión se realiza en tiempo real. Una vez que los paquetes pasen el tramo satélite se descomprimen de nuevo a su tamaño original

- Buffers mayores para Jitter: Es posible mejorar la calidad del jitter a través de habilitar buffers mayores que permitan la reordenación de los paquetes en destino. No obstante buffers mayores incrementaran el delay total del sistema.
  - Modem satélite: Se corresponde con el terminal bidireccional satélite que acondiciona la señal para su envío y recepción desde el satélite. El modem presenta 2 interfaces por un lado la Interface IP que lo conecta con la small cell y por otro lado la interface RF que lo conecta con la antena para recepción/trasmisión directamente desde el satélite. El modem satélite puede integrar opcionalmente funciones que adapten los paquetes IP para mitigar los efectos del delay satélite, jitter y pérdida de paquetes. Los modems satélites están preparados para soportar capacidades en el sentido de descarga de hasta 200Mbps.
  - Antena + elementos de RF: El envío y recepción de datos con el satélite se realiza por parte del terminal satélite a través de una antena directiva de tipo parabólica. La antena cuenta con una unidad receptora (LNB) y una unidad transmisora (BUC) para la realización de estas operaciones.
  - Satélite: Los satélites de comunicaciones actuales se conocen como "bent pipe" porque su única función es la de reenviar los datos que les llegan de las estaciones terrenas sin realizar ningún tipo de procesado en los datos que reciben. Por tanto, a todos los efectos para el resto de los equipos involucrados en la arquitectura el satélite es visto como un "cable".
  - HUB: El HUB es el elemento que concentra la comunicación multipunto con todos los modems satélite. El HUB está ubicado en un Telepuerto donde dispone igualmente de equipamiento RF para la transmisión y recepción de los datos desde/hacia el satélite.
  - Conexión MPLS hasta la red del Operador: Para hacer llegar los datos de usuario al core network del Operador, se establece una comunicación entre el HUB ubicado en un Telepuerto y las instalaciones finales de la red del operador móvil. Para ello se utiliza una conexión MPLS (Multi-Protocol Label Switching) que no es más que una red privada IP orientada a conexión utilizada comúnmente para transportar la información de forma segura entre 2 puntos.
- 
- Small Cell GW:
    - Adaptador Backhaul: Es el dispositivo encargado de deshacer todas las modificaciones realizadas por el Adaptador de origen y devolver al flujo de paquetes a su estado original para seguir siendo procesado por el resto de unidades.
    - SeGW: Security gateway. Se encarga de la securización de las comunicaciones de la Small Cell.
    - SC-MS: Se encarga de la gestión del tráfico que se recibe de las small cells.

- SC-GW: Se encarga de agregar todo el tráfico que se recibe de las Small cells y prepararlo para entregarlo a la red troncal EPC a través de la interface S1.
- Segmento EPC, Core Network Operador móvil:

Se compone de forma estándar por el equipamiento habitual de la red EPC cuyas funciones fueron expuestas en el capítulo 3.

- Core IMS: Es el subsistema que proporciona los mecanismos de control necesarios para la prestación de servicios de comunicación multimedia que están basados en la utilización del protocolo IP a los usuarios de la red LTE
- Core HSS: Es la base de datos principal que almacena los datos de todos los usuarios de la red. La información almacenada es tanto lo relativo a la suscripción del usuario como lo necesario para la operatividad de la red
- Core EPC (MME, SGW, PGW): concentra las funciones relativas al Core de la red troncal.

#### **5.4 Factor de forma y dimensiones del equipamiento de backhaul**

Las dimensiones del equipamiento básico necesario para la prestación de conectividad backhaul a una small cell a través de satélite es por lo general compacto y de reducidas dimensiones lo que permite su instalación en prácticamente cualquier ubicación e incluso integrarse con el equipamiento de la small cell.

De forma aproximada las dimensiones y pesos del equipamiento específico de backhaul satélite son:

- Antena Satélite: Su tamaño depende de la cobertura satélite y requerimientos del balance de enlace según ubicación del nodo remoto, pero de forma aproximada está entre un diámetro de parábola de 1.2m a 60cm. El peso de la antena es inferior a 5kg.
- Unidad RF transmisora: Integrada en la cabecera de la antena. Compacta (15x10x5) cms. Su peso es de aproximadamente 2-3Kg.
- Unidad RF receptora: Integrada en la cabecera de la antena. Compacta (5x5x5) cm. Su peso es de aproximadamente 300gr.
- Modem Satélite: Existe la versión tanto de interior como de exterior. Tamaño compacto (15x10x5) cms. Su peso es de aproximadamente 0.5kg.
- Adaptador de Backhaul: Este dispositivo a veces se encuentra integrado en el propio modem. Sus dimensiones son similares al modem satélite.



## 5.5 Instalación equipamiento de backhaul satélite

Una instalación de equipamiento backhaul satélite para small cells persigue no incurrir en elevados costes ni de instalación ni de mantenimiento. El lugar de la instalación dependerá del escenario, en el caso de una comunidad rural es habitual establecer un acuerdo que permita aprovechar algún edificio comunitario de la comunidad rural para montar el equipamiento, en todo caso, debido a su factor de forma reducido son posibles las instalaciones casi en cualquier lugar pared, postes, torretas, etc.

La instalación del equipamiento de backhaul satélite es similar a la que se realiza para apuntar una antena de TV digital satélite, es decir, se realiza la operación de orientación de la antena hacia el satélite a través del ajuste de los ángulos de acimut, elevación y polarización, en este caso también se requiere de la realización del ajuste de la potencia de transmisión (operación conocida como alineamiento). La operativa de instalación puede ser realizada por técnicos no cualificados ya que no requiere de elevado conocimiento técnico y cualquier miembro de la comunidad rural podría llevar a cabo la instalación y el mantenimiento básico. Una vez la instalación haya sido realizada, el modem satélite ya podrá ser accedido remotamente por el proveedor de servicio y terminar de ser configurado con las prestaciones requeridas del backhaul.

La integración de la small cell con el modem satélite se realiza vía IP a través del interface ethernet de ambos dispositivos. Por tanto dado que el modem satélite es accesible remotamente, la small cell también podrá ser accesible por el proveedor de servicios para ser configurada.

Una instalación robusta es clave ya que reduce las operaciones de mantenimiento, en determinados entornos también es importante la customización de camuflaje especialmente con el fin de evitar impacto visual medioambiental.

En el caso de otro tipo de escenarios remotos como, entorno militar, marítimo, aéreo, etc la instalación del equipamiento de backhaul no persigue tanto el ahorro de costes sino más bien la correcta integración, las prestaciones y la fiabilidad del servicio.

## 5.6 Alimentación del equipamiento de backhaul

En la mayoría de los casos, el equipamiento de backhaul se alimenta de la misma fuente que el equipamiento de small cells. En el caso de instalaciones en comunidades rurales es de esperar que haya disponibilidad de fuentes de alimentación a 220VAC que alimenten toda la instalación. Además el consumo de todo el equipamiento puede estar en el entorno de los 60 a 200W, por lo que cualquier sistema de alimentación doméstico mono-fásico sería suficiente.

En el caso de que no exista la opción de alimentar desde una fuente doméstica se podría integrar un sistema "Off-Grid" de alimentación de corriente continua 12/24VDC basado en paneles solares. Los Sistemas "Off-Grid", o sistemas autónomos, son aquellos que se diseñan para operar en forma independiente de la red eléctrica convencional. En este caso, la energía producida por los paneles fotovoltaicos se almacena en un banco de baterías. Luego las cargas se energizan desde las baterías

ya sea en forma directa en corriente continua o mediante un inversor de corriente para generar energía en 220VAC.

Las interrupciones de alimentación en estos entornos rurales pueden ser muy comunes por lo que deben de ser consideradas soluciones de respaldo, ya que una interrupción en la fuente de alimentación podría dejar totalmente incomunicado el lugar. Para ello es común implementar sistemas de respaldo basado en baterías que soporten mayor capacidad o bien a través de generación eléctrica alimentada por combustible.

## **5.7 Despliegue**

La facilidad y rapidez en el despliegue de una solución de backhaul puede ser un factor determinante en la viabilidad económica de la solución. Los costes que supone un despliegue que requiera solamente unas pocas horas de trabajo difieren mucho de los que supondrían instalaciones de varios días. Como ejemplo, en instalaciones de backhaul cableadas, los despliegues son costosísimos ya que requieren muchas veces de expropiación de terrenos, cavado de zanjas, acuerdos con particulares y administraciones etc lo cual las hace inviables para determinados escenarios. En el caso de las instalaciones de backhaul satélite para small cells, la dificultad y coste de despliegue es mínima, bastan no más de 2 horas para poder tener una instalación plenamente operativa, existen incluso kits estandarizados que reducen la complejidad del despliegue y el nivel de expertise requerido. Este punto es clave para el entorno rural donde el ROI (return of investment) es bajo y precisa de soluciones optimizadas al máximo en precio. En otros escenarios, como el militar, soporte a desastres, etc también se precisa de soluciones de rápido despliegue, por lo que el satélite se presenta como una solución óptima también para estos casos particulares.

## **5.8 Cobertura**

La tecnología satélite es capaz de proporcionar áreas de cobertura que cubren grandes extensiones (desde beams continentales en satélites banda KU hasta beams regionales que cubren uno o varios países en banda Ka) sobre las cuales es posible el despliegue de conexiones de backhaul celular dentro de cualquier parte de su cobertura. Dado que la cobertura de los satélites cubre grandes extensiones, esta tecnología supone en muchos casos la única tecnología de conectividad de datos disponible en zonas rurales, zonas remotas, zonas despobladas, zonas de difícil acceso, mares, océanos, polos, cordilleras montañosas, bosques, etc, etc. En términos de cobertura se puede decir que la tecnología satélite es una tecnología prácticamente ubicua.

## **5.9 Jitter, retardo y pérdida de paquetes**

El Jitter, el retardo y la pérdida de paquetes son tres parámetros que condicionan la calidad del enlace tanto de datos como de voz.

Respecto la pérdida de paquetes la misma puede ser reducida a valores de prácticamente cero en condiciones normales de atenuación, y solamente en lluvia fuerte podría verse afectada, en todo caso, este parámetro depende del balance del enlace, el cual puede ser ajustado según los requerimientos concretos de disponibilidad y margen frente a lluvia. En satélite suele ser habitual encontrar una BER de  $10^{-6}$

Como ya se vio en el capítulo 4 el delay de una conexión satélite depende fundamentalmente del tiempo de propagación que tarda la señal en alcanzar al satélite. Este tiempo de propagación es diferente según la órbita de operación del satélite, teniendo que:

- Delay RTT en satélites GEO: 550ms
- Delay RTT en satélites MEO: <100ms
- Delay RTT en satélites LEO: < 10ms

En el caso de los satélites GEO el delay impacta de forma importante en el servicio específico de navegación de páginas web ya que el protocolo HTTP está basado en TCP y TCP funciona de forma muy ineficiente en entornos de elevado delay y webs con muchos objetos, por tanto la navegación web puede ser de 5 a 10 veces más lenta que en el caso de otras tecnologías de menor delay.

Un elevado delay también tiene impacto en los procesos de sincronismo de la small cell con otras small cells. Esto implica que la comunicación entre small cells para procesos como handover entre ellas no se ejecuten de forma inmediata, lo cual puede producir problemas momentáneos en el servicio. En el caso de small cell con backhaul satélite sin embargo es común que las small cells funcionen de forma aislada y no interactúen con otras small cells, por lo que en este caso no habría impacto debido al retardo en el sincronismo.

En otras aplicaciones que no están basados en TCP, o que no tienen tantos objetos, el delay no impacta tanto y se pueden prestar los servicios satisfactoriamente, como es el caso de servicios basados en UDP o RTP como p.ej los servicios de voz, donde el delay no impacta de forma importante a través de satélites GEO.

En los satélites MEO y LEO el delay es similar al de cualquier tecnología terrestre, por lo que sus prestaciones en los servicios más comunes estaría al mismo nivel que otras tecnologías de backhaul.

Respecto el jitter, el satélite, en todos los casos, presenta un jitter muy estable (tanto en GEO como MEO y LEO) ya que en la comunicación HUB-Terminales es directa y no pasa por routers intermedios por lo que los paquetes IP llegan perfectamente ordenados a su destino, además la tecnología satélite permite establecer colas de prioridad entre los diferentes flujos de tráfico de usuario permitiendo que flujos que requieran de bajo jitter sean procesado en primer lugar. Un jitter estable es clave para la prestación de los servicios de voz y video en tiempo real con calidad adecuada.

## 5.10 Capacidad

La capacidad disponible en el canal de backhaul determina directamente la capacidad que puede entregar la small cell a los usuarios de la red móvil. En small cells ubicadas en los entornos urbanos sobre tecnología de fibra, microondas o ADSL es común encontrar servicios de backhaul con capacidades que superan las decenas de Mbps.

En el caso de backhaul satélite, tradicionalmente el coste del Mbps ha sido muy caro, el cual hace 10 años estaba en ~5000€/Mbps y en la actualidad está en ~500€/Mbps. Si bien ha habido un descenso de hasta 10 veces respecto a hace una década, todavía sigue siendo caro en comparación con tecnologías terrestres. Por ello, en el caso de la tecnología satélite es en muchos casos rentable, en términos de costes OPEX, incluir mecanismos de eficiencia que reduzcan el coste del Mbps. Técnicas como TDM/TDMA, aceleradores, compresores, esquemas de caching local, esquemas FUP de bloqueo de servicio por consumo de cuota, etc. han sido mecanismos utilizados en este entorno como medidas para mejorar la eficiencia del servicio.

Por otro lado, las expectativas de capacidad en escenarios rurales difieren de las esperadas en escenarios urbanos. En escenarios rurales, el simple hecho de contar con conectividad aunque sea a tasas reducidas ya supone un enorme logro para muchas comunidades.

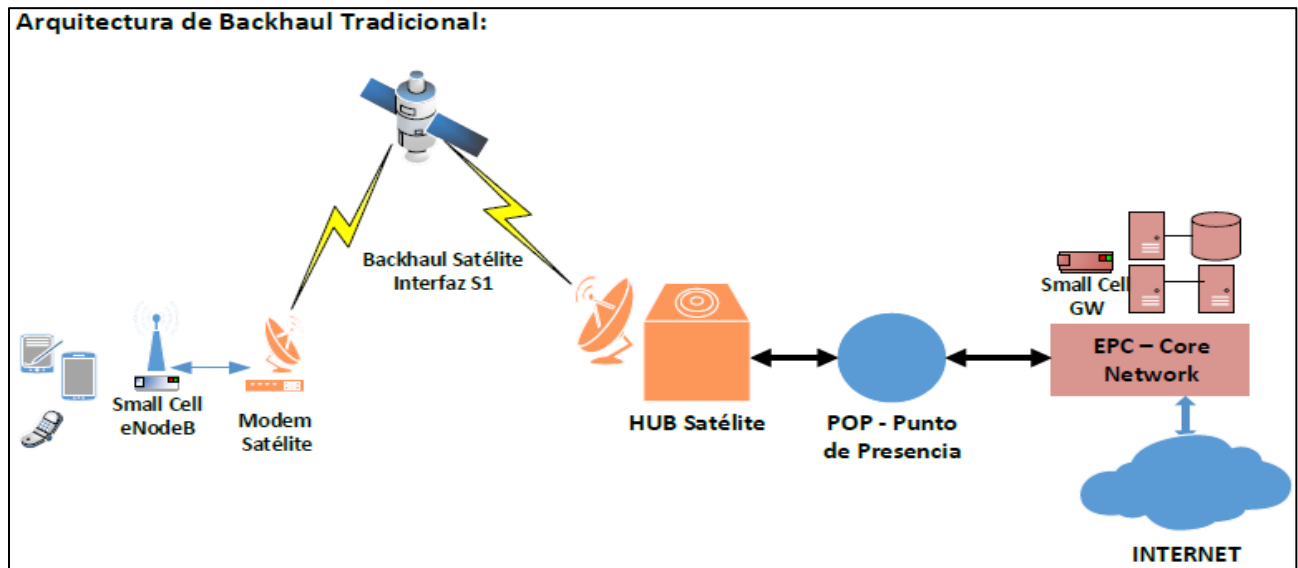
En todo caso, las cosas están cambiando significativamente en los últimos años. Los nuevos diseños satélite conocidos como HTS (High throughput satellite) o satélites de alto rendimiento basados en banda Ka, empiezan a proporcionar tasas cercanas o incluso superiores a los 100Gbps de capacidad para datos IP, esto significa decenas de veces más capacidad de lo que llegan a proporcionar los actuales satélites tradicionales en banda Ku. Como ejemplo, en el Sistema O3b, cada satélite es capaz de proporcionar hasta 12Gbps, lo que se traduciría en 192Gbps para los 16 satélites que componen la constelación de la primera fase del proyecto. En el futuro, en el 2020, se espera que los nuevos satélites proporcionen capacidades de hasta 1.34 Tbps [6]. Lo anterior son claros ejemplos de que la tecnología satélite podrá en un futuro inmediato posicionarse como un firme candidato para la prestación de servicios de backhaul celular 3G/4G

## 5.11 Virtualización del EPC Core Network:

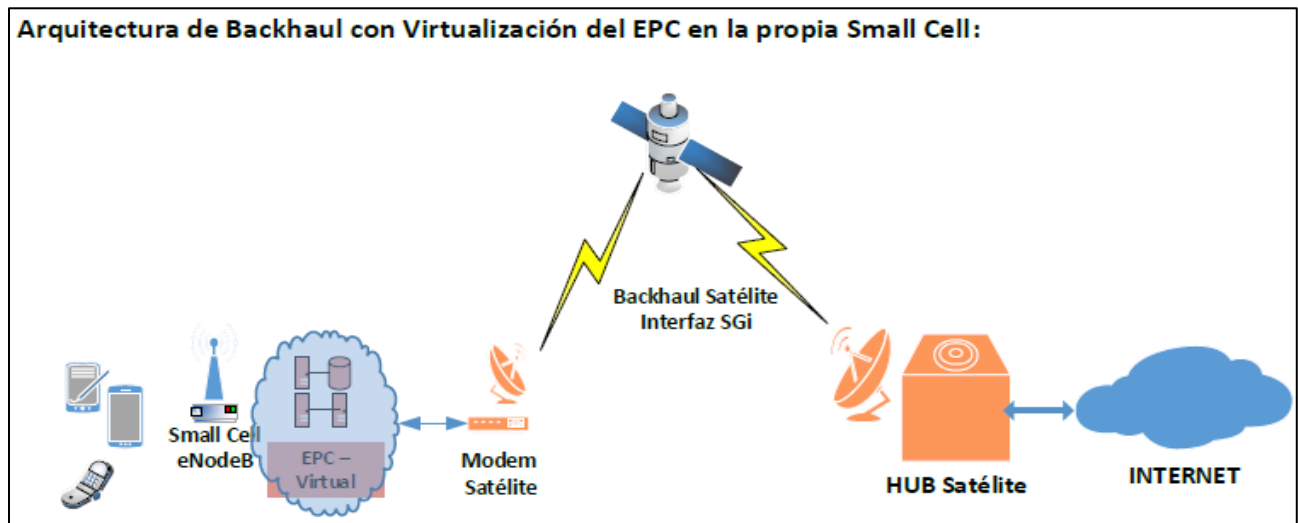
La virtualización del EPC incluido los GW (Small Cell GW y Security Gateways) y también el nodo IMS presenta una serie de ventajas en términos de flexibilidad y ahorro de costes que muchos fabricantes de referencia en la industria están empezando a desarrollar e implementar en su equipamiento. En especial, en lo que respecta a los escenarios rurales y remotos donde el número de usuarios es pequeño y el ARPU es bajo en comparación con el despliegue en grandes urbes, el hecho de virtualizar todo el EPC en una sola máquina simplifica mucho el despliegue, le confiere flexibilidad así como una drástica reducción de costes que pueden hacer que los proyectos resulten viables.

La tendencia por tanto es que sea la propia Small Cell la que además de las funciones de RAN, también procese de forma local y embebida las funciones virtualizadas del EPC, GWs, HSS e IMS, y por tanto la conexión de backhaul satélite sea únicamente para conectar la Small Cell (RAN + EPC) con las redes terrestres (Internet, RTBC, red celular, etc).

A continuación se muestran las figuras de la arquitectura de Backhaul satélite tradicional VS Arquitectura de Backhaul con EPC virtualizado en el EnodeB (Small Cell)



*Figura 5.2 Arquitectura de Backhaul Tradicional*



*Figura 5.3 Arquitectura de Backhaul con Virtualización del EPC*

Como se observa en las arquitecturas de la Figura 5.2 y 5.3 el esquema virtualizado al concentrar todo el EPC embebido en la Small Cell simplifica la arquitectura de red.

## 5.12 Operativa y mantenimiento

En los sistemas de backhaul celular por satélite el mantenimiento comienza con una adecuada instalación inicial. Una correcta instalación implica evitar visitas innecesarias para reparación o mantenimiento en todo el ciclo de vida de la misma. En principio una instalación satélite de backhaul no precisa de ningún mantenimiento ya que el equipamiento satélite es diseñado sobre la base de ser extremadamente robusto presentando valores de MTBF (Mean time between failures) muy superiores a otras tecnologías. Esto es así porque la industria de equipamiento de VSATs satélite es conocedora desde hace años del coste que supone desplazarse a lugares remotos para realizar reparaciones o sustitución de equipamiento, por tanto cualquier fabricante de equipamiento satélite dispone en su portfolio de equipamiento preparado para funcionar en condiciones extremas de temperatura, y humedad y cumple los estándares más comunes de resistencia tales como IP67 y ventilación basada en sistemas pasivos.

Respecto la operativa, se puede hacer en su totalidad de forma remota, accesible de forma sencilla vía IP desde Internet a través de interface web. Las actuales plataformas de banda ancha por satélite cuentan con una completa suite de herramientas de monitorización y control basada en protocolo SNMP que permiten conocer en todo momento los parámetros y métricas importantes para conocer el estado y desempeño del equipamiento remoto de backhaul y realizar todo tipo de operaciones de troubleshooting, estos indicadores se conocen genéricamente como KPIs (Key Performance Indicators) entre ellos se pueden destacar los siguientes procesos:

- Parámetros de consumo de datos en tiempo real e histórico que se guardan en BBDD de forma que se puedan ver evoluciones de consumo y tomar decisiones como incrementar el ancho de banda necesario para la red de backhaul.
- Parámetros de status del terminal: Permite conocer el estado del terminal remoto de backhaul, saber si está encendido, apagado, en stand-by, etc.
- Logs: El terminal remoto de backhaul lanza mensajes de información o de error periódicamente para indicar su estado y eventos.
- Posicionamiento: Es posible ver la posición GPS del terminal remoto de backhaul, lo cual es útil para backhaul prestado en vehículos en movimiento como barcos, aviones, trenes, etc.
- Parámetros de calidad RF de la señal: Permite conocer los parámetros de calidad de la señal del terminal remoto de backhaul en términos de RF tanto en transmisión como en recepción a través de los valores de C/N.

La operativa remota además no se restringe únicamente a visualización de parámetros de monitorización, también permite la ejecución de comandos lo que permite entre otras cosas actuar sobre los valores de configuración de la conexión de backhaul (p.ej incrementar la capacidad del enlace de backhaul para soportar más conexiones, realizar actualizaciones en remoto del terminal para incluir nuevas prestaciones, reiniciar el terminal si se encuentra con algún problema, etc)

### **5.13 Licenciamiento**

La tecnología satélite es una tecnología que está completamente regulada a nivel internacional, sus bandas de operación son:

Banda Ku: 12 a 18GHz

Banda Ka: 26.5 a 40GHz

Solamente pueden ser usadas de forma exclusiva para la prestación del servicio satélite.

El hecho de que sea una tecnología que funciona bajo licencia regulada le confiere un escenario de fiabilidad espectral frente a interferencias de otras tecnologías y entre sí misma lo que permite garantizar las capacidades en la prestación de los servicios así como establecer mecanismos de calidad de servicio.

### **5.14 Disponibilidad del servicio**

En la actualidad, los servicios de comunicación basados en tecnología satélite están identificados como sistemas extremadamente robustos. Las tasas de disponibilidad alcanzadas en un servicio satélite superan el 99.7%.

Los casos de indisponibilidad vienen determinados principalmente por 3 causas:

- **Balance de enlace:** Las estaciones terrenas del servicio satelital se dimensionan para operar con suficiente margen operativo en las condiciones de lluvia presentes en la ubicación de la instalación satélite, solamente casos de lluvia muy extrema podrían provocar que el demodulador sea incapaz de extraer la señal correctamente.
- **Interferencia:** Si bien el espectro satélite está regulado, fallos en equipamiento o fallos humanos podrían provocar que portadoras indeseadas se superpongan sobre la señal deseada haciendo que la relación C/N descienda dramáticamente hasta el punto de ser imposible demodular la señal deseada.
- **Fallo en equipamiento:** los equipos electrónicos son susceptibles de fallar. La tecnología satélite se ha caracterizado a lo largo de los años de disponer de equipamiento altamente robusto y con porcentajes de MTBFs extremadamente altos. En todo caso, los fabricantes y diseñadores de tecnología y soluciones satélite reducen al máximo las tasas de indisponibilidad

por fallo en equipamiento a través de eliminar puntos de simple fallo (SPF) e introducción de mecanismos de "hot redundancy" que permiten la activación del equipo redundante inmediatamente que se detecta que el equipo nominal entra en fallo.

Los reducidos costes de instalación e infraestructura de la solución satélite junto con su fácil despliegue hacen que en muchos casos se considere la solución satélite como backup de soluciones de backhaul cableadas u otras soluciones inalámbricas. El esquema es relativamente sencillo, se tiene por un lado la solución primaria que también puede estar basada en satélite o bien en otra tecnología cableada o inalámbrica y por otro lado se tiene la solución de backup satélite. Se ubica un switch intermedio capaz de monitorizar el estado de la interface primaria y secundaria, cuando el switch detecta que no hay conectividad en la interface primaria o bien que es deficiente o irregular, automáticamente una regla configurada en el switch activa la interface secundaria satélite, la cual se puede definir para que tenga mismas prestaciones que el enlace primario o bien prestaciones inferiores. Es común que las soluciones de backup se diseñan con inferiores prestaciones a las de la solución primaria, de cualquier modo, en la mayoría de los casos es posible de forma flexible decidir en cada momento la capacidad en términos de Mbps dedicados que se requiere emplear para la solución de backup del servicio de backhaul.

En definitiva, dependiendo de la criticidad de la conexión de backhaul los Operadores de Servicios 3G/4G suelen diseñar soluciones basadas en esquemas de conectividad primaria y backup porque de otro modo se corre el riesgo de poder dejar toda una zona incomunicada con los graves perjuicios que eso ocasiona, de esta manera quedan cubiertos problemas debido a fallos del equipamiento primario, hurto de equipamiento y cableado (cobre), etc

Según lo explicado anteriormente, la solución basada en satélite supone un esquema óptimo para servir de esquema de backup en la prestación del servicio de backhaul, de hecho, en la actualidad este esquema es ampliamente plantado como solución robusta de diseño por los operadores de servicios.

## **5.15 Sincronización**

Las small cells deben estar correctamente sincronizadas para permitir la prestación del servicio sin colisiones o interferencias, así como para el establecimiento de los mecanismos de handover

Existen varias opciones de sincronización:

- Sincronización a través de la macrocelda más cercana.
- Sincronización a través de protocolo IP, usando algún mecanismo propietario o idealmente a través de algún estándar de sincronización como NTP o IEEE 1588v2.
- Sincronización libre con osciladores de alta estabilidad.

Los satélites de comunicaciones geo-estacionarios (los más habituales) presenta valores de delay muy elevados (RTT ~ 550ms) que condicionan la selección de los esquemas de sincronismo.



La forma más común de sincronización usada hoy en día para por las small cells conectadas a un segmento de backhaul satélite es a través de esquemas de sincronización NTP donde el servidor ubicado en el core network del operador envía las señales de sincronismo a la small cell a través del segmento satélite. Este esquema, a pesar de la variabilidad del jitter y los elevados delays es capaz de proporcionar la estabilidad en frecuencia requerida por las small cells basadas en 2G y 3G. El principal inconveniente radica en el continuo consumo de ancho de banda satélite durante la entrega del tráfico de sincronismo NTP. Por esta razón, es también común la utilización de esquemas menos precisos basados en GNSS (Global Navigation Satellite System) el cual puede estar bien integrado o bien externo a la small cell, y si bien tiene un coste inicial por adquisición de la unidad de sincronismo GPS, el ahorro de coste por consumo de BW satélite se reduce a cero, lo cual en el caso satélite donde el coste del Mbps es mayor que otras tecnologías puede ser un factor importante.

Para sistemas LTE, la industria está promoviendo la utilización de esquemas PTP (Precision Time Protocol – IEEE 1588), este protocolo para sincronización de tiempo en red es exactamente igual que NTP pero con una precisión considerablemente mayor. No obstante hacer funcionar PTP sobre satélite es un reto ya que la precisión requerida por el protocolo para lograr la estabilidad en frecuencia no puede ser mayor de 5ms. Además como en el caso de NTP, también tendría el inconveniente del consumo continuado de ancho de banda satélite para el envío de las señales de sincronismos. Es por ello que se están planteando nueva soluciones que soporten PTP a través de relojes maestros ubicados en la propia unidad remota satélite, el cual es sincronizado únicamente por la propia frecuencia de bajada. Este esquema permitiría usar NTP y así conseguir buenas precisiones en frecuencia y estabilidad (<15ppb) y además sin el overhead que supone el envío de paquetes PTP de forma continuada sobre el canal satélite.

Es importante destacar que ninguno de los sistemas de sincronismo mencionados es capaz de satisfacer los requerimientos de sincronización de fase. Sin embargo, esto no supone un problema ya que las small cell con backhaul satélite son a menudo desplegadas en zonas rurales donde no hay solapamiento de cobertura con otras macroceldas, por lo que es suficiente con disponer de mecanismos de sincronización en frecuencia.

En muchos casos y muy especialmente en entornos rurales y remotos (barcos, aviones, trenes, etc) la small cell se encuentran en una situación denominada "island cell" ya que no tienen conectividad con ninguna macrocelda cercana y tampoco hay ningún tipo de solapamiento de coberturas, por tanto solamente se requiere el mantenimiento de sincronismo con el core-network y para ello las opciones de sincronización NTP, GPS o reloj interno son las más recomendables.

Lo ideal en todo caso sería la definición por parte de los organismos reguladores de estándares que tengan en cuenta el escenario particular del entorno rural donde las interferencias con otras celdas y los handover son inexistentes.

## 5.16 Seguridad

La seguridad es un aspecto crítico de cualquier sistema de comunicaciones inalámbrico, en el caso de las small cells y de su backhaul este punto es especialmente crítico ya que pueden ser desplegados en escenarios potencialmente accesibles por personal no autorizado.

La seguridad de las small cells ha sido considerada desde el principio por los principales organismos estandarizadores, entre ellos 3GPP en su Release 8 y 9. El estándar utilizado para las macro-cells (3GPP TS 33,401) se muestra insuficiente en el caso de las small cells donde los dispositivos pueden no ser instalados por los operadores, por lo que 3GPP lanzó 2 nuevas recomendaciones a seguir para cubrir la seguridad en las small cells las cuales pueden encontrarse en los documentos TS 33.320, TR 33.820 (3GPP) y S.S0132-0 (3GPP2)

Básicamente la arquitectura de los elementos de seguridad de una small cell se identifican en el siguiente esquema:

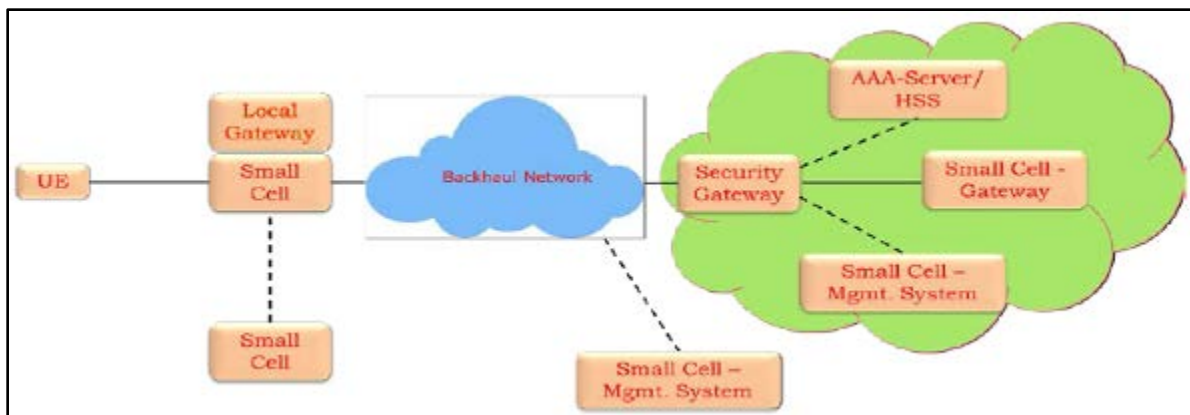


Figura 5.4. Arquitectura de elementos de Seguridad Red Small Cell

En el caso de la red de backhaul satélite, no hay mucha diferencia respecto otros tipos de esquemas de backhaul y el mecanismo preferido que se usa para securizar las comunicaciones es a través de un túnel IPSEC que se establece entre la Small Cell y el Core Network del Operador. Dentro del Túnel IPSEC se puede utilizar el protocolo de encapsulamiento ESP (encapsulated security payload) que proporciona integridad, confidencialidad y protección de los datos dentro del túnel IPSEC. Como mecanismos de autenticación compatibles con el túnel Ipvsec puede usarse el protocolo de autenticación IKEv2 según se especifica en TS 33.310. En caso de que el túnel IPSEC no pueda usarse, otros mecanismos basados en protección de capa 2 (basadas en Ethernet - MAC) pueden igualmente proporcionar la seguridad necesaria en las comunicaciones.

En general el backhaul de small cells con frecuencia se produce a través de redes de otros proveedores que pueden no tener los mismos estándares de seguridad que el operador de telefonía móvil. En consecuencia esta nueva infraestructura debe tener un mecanismo de autenticación con la red de los operadores móviles y el tráfico debe ser encriptado durante todo el trayecto, incluyendo los tramos de red que no pertenecen a los operadores.

La principal ventaja del satélite radica en que no es necesario recorrer largos caminos a través de internet con multitud de routers intermedios, ya que la small cell se conecta directamente al modem satélite y de ahí, vía satélite, pasa directamente al HUB que se conecta vía conexión directa al Core Network, por tanto en el esquema satélite se minimizan los riesgos de seguridad en comparación con otras tecnologías.

En todo caso, LTE es una red enteramente basada en IP, y por tanto está sujeta a mayores riesgos que las redes 2G y 3G derivados de la naturaleza IP, entre ellos están ataques de DDoS, Hackers, virus, gusanos, etc. que los operadores tendrán que controlar en los próximos años.

## 5.17 Competencia

Entre las distintas tecnologías que pueden ser competencia de la tecnología satélite como solución de backhaul para small cells 3g/lte, la tecnología basada en NLOS Sub 6GHz es la principal candidata. Esta tecnología puede proporcionar un medio eficiente de entrega de conectividad backhaul a localizaciones Rurales y Remotas. Una de las ventajas principales de NLOS Sub 6GHz es que no requiere un camino directo entre los puntos extremos y además es resistente a edificios y vegetación así como a movimiento de vehículos y personas como ocurre en algunos escenarios donde el entorno suele ser caótico con muchos obstáculos en medio y moviéndose.

Para vehículos en movimiento, la frecuencia sub-6GHz soporta bien tanto los mecanismos de "fast handover" como las técnicas de corrección Doppler, por lo que también sería útil para el despliegue de soluciones de backhaul en vehículos en movimiento.

Para instalaciones temporales, tales como desastres, donde el entorno también es caótico y cambiante y aquí de nuevo la tecnología NLOS es resistente a este tipo de cambios.

Otra característica importante es la no necesidad de realizar alineamiento lo cual facilita su rápido despliegue así como cambio de ubicación.

Entre las principales limitaciones de la tecnología NLOS-Sub 6GHz está el espectro, el cual es un espectro bastante demandado (de hecho la propia tecnología 4g y wifi utilizan este espectro, pero también otras tecnologías como Wimax) por lo que su utilización para backhaul estaría bastante limitado y en todo caso sus canales no podrían ser mayores de 5MHz a 20MHz, por este motivo su capacidad de transferencia está limitada. Los espectros de frecuencias bajas (ej. Sub-3GHz) son más indicados para backhaul en áreas rurales por su mayor longitud de onda, mayor penetración de obstáculos y mayor rango de alcance.

En la siguiente tabla se muestra una comparativa de ambas tecnologías:

Característica	Sub-6GHz (NLOS)	Satélite
Capacidad	170Mbps para un canal de 20MHz TDD. Con técnicas MIMO y modulaciones más potentes se podría alcanzar hasta 400Mbps	Banda KU: 120Mbps/56Mbps Banda KA: 450Mbps/300Mbps (por haz-beam)
Disponibilidad Espectro	Muy limitado. Depende de la región pero normalmente el espectro sub-6GHz está muy saturado (servicios de TV, servicio móvil celular, etc)	No hay problemas de disponibilidad espectral
Latencia	5-20ms (solo camino de ida)	300ms (solo camino de ida)
Cobertura	15-20kms	Cobertura prácticamente Global
Topología	Admite esquemas punto a punto y punto multipunto	Admite esquemas punto a punto y punto multipunto
Disponibilidad	Muy elevada, depende de link budget (puede ser diseñada según requerimiento)	Muy elevada, determinada del balance de enlace
Soporte QoS	SI	SI

Sincronización	Soporta todos los esquemas:  -Capa física (ej SyncE)  -Nivel paquete basado en frecuencia (ej: PTP y NTP)  -Nivel paquete basado en tiempo/fase (ej. PTP, NTP)	Limitada debido al alto delay  -GPS  -NTP  -Reloj interno
Multiplexación Estadística	SI	SI
Alineamiento / Ajuste de potencia transmitida	No es necesario	Si es necesario
Instalación	Muy rápida y sencilla. No requiere línea de visión directa. Puede ser instalado por un único técnico	Requiere selección de ubicación adecuada para tener Línea de visión directa con el satélite. Requiere un técnico con capacidades básicas de apuntamiento de antenas
Equipamiento en la ubicación de la small cell	Unidad de recepción y modem IP	Modem IP satélite y antena satélite

Tabla 5.1. Parte 2. Comparativa Prestaciones Tecnología Backhaul Satélite VS Tecnología NLOS Sub-6GHz

Como conclusión se tiene que ambas tecnologías si bien tienen cabida en escenarios de aplicación similares, por regla general la fortaleza del satélite radica en su mayor cobertura, la cual es prácticamente ilimitada y la hace ser la solución más idónea en todos los casos a partir de grandes distancia. Respecto distancias <25km, dependerá de los casos en concreto, p.ej un punto importante a favor de la tecnología NLOS es su bajo delay lo cual puede ser un requisito crítico en algunos casos (p.ej servicios de juego on-line, videoconferencia, aplicaciones específicas que requieren tiempo real, etc)

## 5.18 Business plan

Los factores clave que permitirían conseguir cerrar adecuadamente los análisis económicos para el despliegue por parte de los Operadores móviles de soluciones de small cell con backhaul satélite serían:

- Equipamiento low cost: Es necesario conseguir que el equipamiento que se instala en el nodo remoto (small cell + equipamiento de backhaul) sea del menor coste posible, para ello, es importante conseguir llegar a economías de escala que pueden bajar considerablemente el coste del equipamiento. En el caso de que haya que alimentar las unidades mediante fuentes alternativas, los esquemas basados en energía fotovoltaica están demostrando ser una solución barata para la alimentación de estas soluciones.
- Precio por Mbps: El precio por Mbps en tecnología satélite todavía sigue siendo el concepto de mayor impacto en el coste total de la solución de backhaul, no obstante en los últimos años este coste está descendiendo considerablemente gracias especialmente al lanzamiento de nuevos satélites HTS que presentan decenas de veces más capacidad que los satélites convencionales.
- Un factor importante para ofrecer una solución competitiva sería la de conseguir que desde una única small cell se pudiera proporcionar servicio para varios operadores al mismo tiempo, para ello se necesita de la regulación compartida del espectro entre distintos operadores en este tipo de localizaciones rurales y remotas.
- Subvención de la solución por los gobiernos: Los gobiernos conscientes de los beneficios socio-económicos que aporta la disponibilidad de servicios de datos lanzan planes nacionales subvencionados para dotar de infraestructura celular de alta velocidad 3g/4g. Estos planes subvencionan parte del gasto que dedican los operadores para el despliegue de las infraestructuras necesarias.

La conjunción de todos estos factores está permitiendo que el despliegue de soluciones 3g/4g especialmente en países en vía de desarrollo donde las infraestructuras cableadas están menos implantadas se esté convirtiendo en una operación viable económicamente para los operadores móviles locales.

## **6 ESCENARIOS DE APLICACIÓN**

### **6.1 Introducción**

En este capítulo se describen y analizan los principales escenarios de aplicación sobre los cuales la tecnología de backhaul satélite se presenta como una opción de conectividad óptima para proporcionar soluciones móviles celulares basadas en tecnología de small cells 3g/LTE

### **6.2 Características generales de los escenarios rurales y remotos**

Los entornos rurales y remotos pueden ser muy diversos, pero habitualmente se tratan de zonas que tienen alguna o varias de las siguientes cinco características especiales que definen a este tipo de entornos y que se describe a continuación:

- Rural: zonas que se encuentran fuera de las ciudades y núcleos urbanos y que en casos particulares pueden carecer de cobertura móvil de banda ancha.
- Remoto: Se corresponde con zonas alejadas de cualquier acceso a cobertura fija y móvil.
- Movilidad: Entornos donde los usuarios se encuentran en plataformas móviles tales como barcos, aviones y trenes.
- Temporalidad: Entornos donde los servicios son necesitados durante cortos periodos de tiempo pero los cuales necesitan de rápido despliegue.
- Dedicado: Se corresponde con zonas donde se precisan de servicios, cobertura o capacidad dedicada que es entregada a un grupo específico de usuarios y esta capacidad, servicio o cobertura dedicada puede ser entregada como extensión de lo que ya ofrecen las redes móviles existentes o bien en forma aislada e independiente a éstas.

### **6.3 Retos y motivación de los operadores en los escenarios rurales y remotos**

#### **6.3.1 Motivaciones generales que encuentran los operadores**

- Acceso a millones de nuevos usuarios en entornos exigentes pero a la vez desafiantes. Los usuarios rurales y remotos están cada vez más interesados en la tecnología celular, las dificultades técnicas que había para el despliegue de comunicaciones celulares en estos entornos quedarían en parte resueltos con la llegada de las small cells, la tecnología lte y las opciones de backhaul inalámbricas.

- Oportunidades para diferenciación y fortalecimiento de la marca a través de la oportunidad de convertirse en operadores pioneros en ofrecer servicios especializados donde los competidores no podrían entrar sin recursos de ingeniería e innovación.
- Acceso a áreas de aplicación de alto valor lucrativo con posibilidad de ARPU's elevados en entornos e industrias exigentes.
- Tener oportunidad de generar importante valor social y económico en particular para comunidades rurales con accesos deficientes a red celular a través de promover el desarrollo de conectividad en estas comunidades. Existen beneficios demostrados tanto en lo económico como en lo social de "conectar a los desconectados" y un reconocimiento creciente que los servicios móviles son básicos en las necesidades económicas y sociales lo que conlleva a la sensibilización de operadores por trabajar coordinadamente entre ellos y conjuntamente con los entes regulatorios, industria, gobiernos, etc. para desbloquear esta situación que limita a los usuarios "desconectados".
- Haciendo que el despliegue de los servicios móviles celulares tenga un efecto catalizador e incentivador para atraer nuevos servicios desde otros entornos y consecuentemente nuevos ingresos.

### **6.3.2 Tamaño del mercado rural y remoto**

Bastan algunas referencias para interpretar la magnitud del mercado rural y remoto:

- Según el estudio realizado por la organización que engloba a los principales operadores móviles mundiales GSMA [7] la población rural empieza a verse como una fuente importante de potenciales suscriptores por parte de los operadores ya que suponen un mercado de más de 1600 millones de usuarios en todo el mundo.
- Miles de pasajeros cada día hacen uso de los medios de transporte aéreos, marítimos y ferroviarios los cuales tienen crecientes expectativas de disponer de servicios de voz y datos durante sus trayectos. Numerosos proyectos están en marcha para dotar estos vehículos de conectividad a la red celular mediante small cells.
- Industrias de alto valor tales como extracción de petróleo y gas están también planteándose la adopción de sistemas basado en tecnología celular, de hecho, según el estudio [8], esta adopción es la segunda mayor prioridad (tras la ciberseguridad) por parte de los CIOs de esta industria.

### **6.3.3 Características diferenciales de los mercados rural y remoto**

Los mercados rural y remoto funcionan tradicionalmente de forma muy diferente a los mercados de las ciudades. Son especies de ecosistemas cerrados que tradicionalmente han contado con sus propios sistemas de comunicación a medida que en muchas ocasiones no están basados en comunicaciones celulares (p.ej red TETRA, red privada de los militares, red privada de



emergencia, etc) Hasta ahora este tipo de ecosistemas cerrados era de difícil entrada para los operadores celulares, los cuales no se sentía familiarizados con los requerimientos específicos de estos entornos y por ello no se encontraban muchos alicientes para realizar un completo despliegue de infraestructura extremo a extremo así como de despliegue de servicios del mismo modo que se hace con la red pública celular. Sin embargo, ahora con la llegada de las small cell el contexto cambia radicalmente. El bajo coste de las small cell, la creciente aparición de aplicaciones de gran utilidad para estos mercados, la flexibilidad de soluciones de backhaul y la facilidad de instalación (una small cell puede ser desplegada por un usuario cualquiera o un integrador de sistemas o incluso cualquier persona independiente del operador celular) hacen que los operadores estén empezando a ver con mayor atractivo este tipo de mercado. Todos estos ingredientes están generando un nuevo atractivo entre los operadores y también entre los usuarios que empiezan a mostrar un interés real en la forma de comunicación basada en la tecnología celular.

#### **6.4 Papel de las small cells y la tecnología satélite de backhaul en los escenarios rurales y remotos**

Las características especiales de las small cells con backhaul satelital se adaptan perfectamente a los requerimientos de los entornos móviles mucho mejor que lo puedan hacer las técnicas convencionales basadas en macroceldas, haciendo que "conectar a los desconectados" sea considerado por primera vez un mercado atractivo para los operadores. Algunas razones esgrimidas se listan a continuación:

- A través de las small cells se consigue reducir las inversiones iniciales de CAPEX para el despliegue de servicios celulares en estos entornos debido a:
  - Muy bajo coste por unidad
  - Bajo consumo de alimentación eléctrica
  - Factor de forma pequeño
  - Fácil instalación
- Los costes OPEX son también reducidos en estos entornos (p.ej alquileres de infraestructura más baratos)
- Costes de distribución inferiores por suscriptor ya que con las small cells se puede servir de forma selectiva a los pequeños grupos de usuarios que sean de interés y que estén dispuestos a pagar por el servicio recibido.
- Se pueden habilitar nuevos ecosistemas flexibles donde el operador pueden mantenerse incluso al margen de la propiedad y funcionamiento de la small cell e incluso de todo el subsistema RAN.
- Se facilita la customización de los productos y servicios, algo que es esencial para enfrentarse con los usuarios de estos entornos (los fabricantes de tecnología satélite disponen de soluciones

y equipamiento específico de backhaul para productos en diferentes entornos, rural, militar, movilidad, industria remota etc)

## **6.5 Escenarios de aplicación**

### **6.5.1 Comunidades rurales**

#### **6.5.1.1 Introducción del escenario rural**

En las localizaciones urbanas y suburbanas de prácticamente todos los países desarrollados o en vías de desarrollo existe ya cobertura de telefonía celular de alta velocidad de datos para acceso a Internet y servicios IP: 3G, HSPA, HSPA+ y poco a poco cada vez más 4G. Es cierto que también en estas localizaciones urbanas y suburbanas hay zonas con algún tipo de limitación de cobertura o capacidad las cuales están siendo corregidas por los operadores a través de tecnología basada en redes de small cells. Fuera de estas áreas urbanas/suburbanas, en el entorno rural, la cobertura móvil de datos ya no es de alta velocidad y a menudo queda limitada a solamente tecnología 2G (GSM – GPRS) que alcanza tasas que escasamente llegan a los 114kbps o incluso el servicio de datos ni siquiera existe.

Proporcionar servicios de datos en las localizaciones rurales supone uno de los grandes retos a los que se enfrentan hoy en día los operadores de telecomunicaciones móviles. Son zonas que en algunos casos los operadores consiguen rentabilizar, pero en la mayoría de los casos los costes de implantación y mantenimiento no llegan a ser cubiertos por los ingresos que generan los suscriptores. No obstante, la dotación de conectividad en estas zonas permite oportunidades indirectas a los operadores que pueden ser aprovechadas.

#### **6.5.1.2 Factores impulsores del mercado rural**

Entre los factores impulsores que llevan a los operadores y gobiernos locales a tomar la decisión de proporcionar servicios de datos sobre red celular a través de small cells en las localizaciones rurales se tienen los siguientes:

- Oportunidad de diferenciarse de otros operadores y ganar nuevos suscriptores: Un operador que mejore la cobertura en áreas rurales puede optar a conseguir suscriptores que viven en la ciudad pero ocasionalmente viajan o pasan un tiempo o simplemente trabajan eventualmente en áreas rurales. Hay que tener en cuenta que la ausencia de cobertura en zonas rurales impide a estos usuarios poder desarrollar su ocio o trabajo lo que les puede producir fuerte insatisfacción y buscar alternativas en operadores que sí sean capaces de ofrecer cobertura en estas zonas.
- Permite a los operadores diferenciar su imagen de marca. P.ej a través de permitir eslóganes del tipo "Los únicos con cobertura LTE rural del 100%"

- La conectividad móvil permitiría mejorar el acceso a servicios de asistencia médica para estas regiones, las cuales normalmente carecen de consultorios médicos. Se podría incluso dotar de servicio de tele-asistencia.
- Una conexión de datos a través de la red móvil posibilitaría que se pudieran dar servicios como tele-trabajo para estas zonas. Como referencia, el Teletrabajo está aumentando año tras año y según datos del INE, el 22% de las compañías españolas cuentan ya con programas de teletrabajo.
- Favorece el desarrollo socio-económico de estas zonas. Existe una correlación directa entre penetración de la banda ancha móvil y productividad laboral e incremento del PIB de una región. Algunos estudios analizan esta correlación [9]
- Los Gobiernos cada vez están más sensibilizados en la importancia del despliegue de servicios móviles en las regiones rurales y están incluyendo propuestas y proyectos en sus agendas digitales e incluso están incluyéndolo como requisitos fundamental en las subastas de espectro 4G. Los gobiernos encuentran importantes factores incentivadores para dotar de conectividad a estos lugares ya que el despliegue de servicios puede suponer un importante catalizador del desarrollo de estas zonas y afectar muy positivamente a sectores como la ganadería, la industria, servicios, etc. por lo que en muchos casos se adoptan por parte de los gobiernos por un lado medidas subsidiarias que ayuden a los Operadores móviles a compensar los costes de infraestructura y mantenimiento y por otro lado medidas regulatorias obligando a los operadores a compartir sus redes a través de estaciones base multi-operador y redes de backhaul que puedan ser segmentadas entre los diferentes operadores participantes.

### **6.5.1.3 Descripción y arquitectura del esquema de backhaul satélite**

La arquitectura de despliegue de una solución de small cells en un escenario rural puede ser desde un esquema muy básico, consistente en una única small cell que proporcione cobertura a toda la comunidad rural o bien un esquema más complejo formado por una red de small cells que se conectan localmente a un concentrador local para luego transportar los datos vía canal de backhaul satélite al core network del operador. La principal ventaja de contar con un concentrador local es que permite redirigir localmente llamadas sin tener que salir por el canal de backhaul. El esquema de la arquitectura se muestra a continuación:

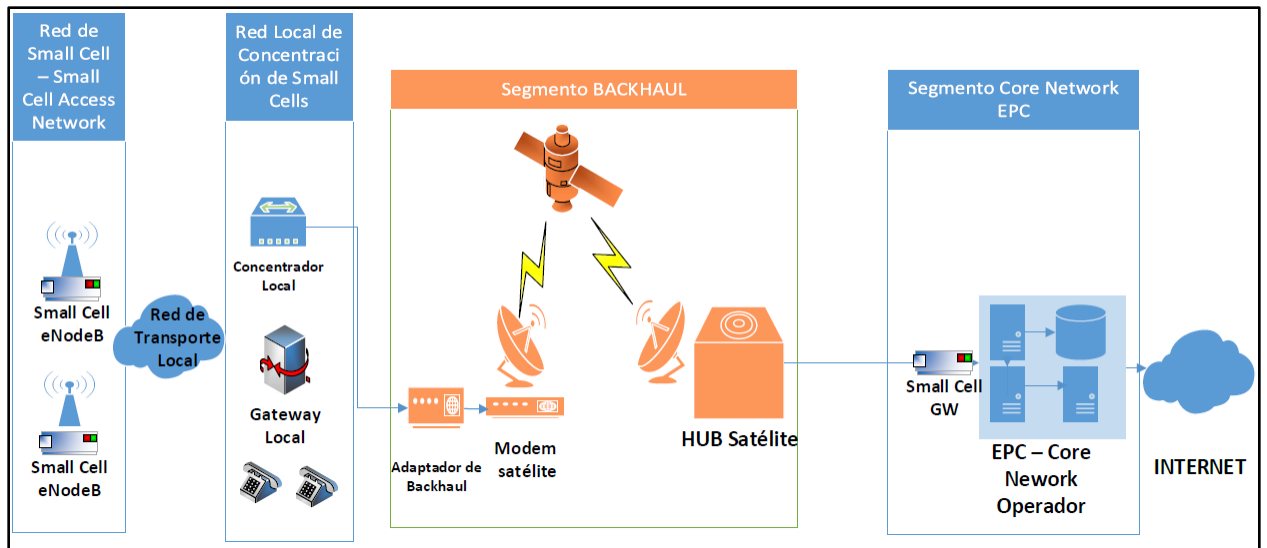


Figura 6.1. Arquitectura Small Cell en Escenario Rural

## 6.5.2 Medios de transporte

### 6.5.2.1 Introducción del escenario:

La conectividad celular en los principales medios de transporte, aviones, barcos y trenes se está convirtiendo en una prioridad por parte de las compañías de transporte que lo ven como un importante valor añadido a prestar tanto a sus pasajeros como a la tripulación. La llegada de las small cell, la flexibilidad de los esquemas lte y la tecnología de backhaul satélite suponen una combinación óptima para llevar la conectividad celular a este sector. Entre las ventajas que aporta están tanto las orientadas al ocio y al trabajo de los pasajeros así como las relacionadas con la seguridad, la operativa y la logística.

### 6.5.2.2 Factores impulsores

- Incremento de la experiencia "conectividad en todas partes": Se incrementa la sensación de que hay conectividad en todas partes, eso hace que los pasajeros lleven consigo sus dispositivos celulares de ocio y trabajo también durante sus trayectos. En el caso de los pasajeros de negocio les permite poder mantener su productividad incluso cuando están en trayecto. Además según un estudio [10] no disponer de conectividad de internet se coloca para los viajeros de negocios como el segundo factor de estrés después de la pérdida del equipaje.
- "Redes de moral" y su impacto en la retención del personal: En el sector marítimo en particular, el personal de tripulación pasa largos periodos de tiempo sin volver a casa, el hecho de disponer de una red móvil a bordo que permita a la tripulación contactar con sus allegados desde sus propios dispositivos móviles, se conoce como "red de moral", lo cual se ha demostrado que impacta significativamente en la satisfacción y retención del personal empleado.

- Factor de diferenciación por las compañías de transporte y flujos de ingresos adicionales: La conectividad celular puede influenciar en la decisión de los pasajeros para elegir una compañía u otra de transporte. Además la integración de servicios con sistemas de entretenimiento a bordo puede abrir nuevas oportunidades de ingresos para los operadores.
- Comunicaciones Operacionales: A través de la red móvil se podrían proporcionar servicios de señalización, control de imágenes, cobro de servicios con tarjeta de crédito y TVP, etc.
- Trazabilidad del cargamento vía dispositivos M2M: La posibilidad de realizar trazabilidad del cargamento vía dispositivos M2M está creciendo en los últimos meses y podría ser un factor diferencial entre compañías de transporte de ámbito logístico.
- Acceso a mercados de costa: En el sector marítimo la conectividad móvil podría permitir a los pescadores acceder a la información de los mercados de abastos cuando todavía están en el mar y así intercambiar información sobre demanda de sus capturas y acordar ventas antes de retornar al puerto.

### **6.5.2.3 Descripción y arquitectura de la solución de small cells sobre backhaul satélite**

- Marítimo: En el escenario marítimo y más allá de unos pocos kilómetros de la costa la única tecnología de conectividad disponible es la satélite. Por tanto, en este escenario si se quiere prestar servicio de datos por red celular 3G/4G la única opción posible es a través de habilitar un backhaul sobre tecnología satélite. El dimensionado del BW necesario para el servicio dependerá sobretodo de los requerimientos específicos de cada embarcación ya que el mercado marítimo es muy amplio y en él coexisten desde pequeños yates de lujo, hasta grandes embarcaciones pesqueras, petroleros transoceánicos así como los denominados cruceros turísticos, estos últimos suponen uno de los principales mercados potenciales donde el servicio basado en una small cell dentro del barco y backhaul satélite permitiría a todos los pasajeros del crucero poder utilizar sus teléfonos móviles de igual forma que si estuvieran sobre tierra firme.
- Aviación: Del mismo modo que en el escenario marítimo, también en este caso la única tecnología posible para proporcionar servicio de conectividad backhaul celular 3g/4g es a través de la tecnología satélite. La integración del equipamiento satélite compuesta por antena giroestabilizada + LNB receptor + BUC transmisor en el fuselaje del avión ha sido uno de los grandes retos a los que se ha tenido que enfrentar la industria aeroespacial y de comunicaciones para dotar de capacidades de banda ancha a los aviones debido a las especiales condiciones de seguridad que deben ser garantizadas en los mismos. Compañías de tecnología satélite como Viasat en colaboración con los principales fabricantes de aviones (Airbus y Boeing) están desarrollando sistemas que integran el equipamiento satélite en el fuselaje del avión [11]. Los grandes trayectos que recorren los aviones plantean también la necesidad de establecer mecanismos de roaming entre distintos satélite, por tanto, los proveedores de servicio deben establecer acuerdos con distintos operadores de satélites (Ka Band y Ku Band) para conseguir dar continuidad al servicio durante todo el trayecto.

- Ferroviario: Los trenes de largo recorrido cruzan en muchas ocasiones por zonas más o menos extensas que no están cubiertas por ninguna celda de telefonía móvil 3G/4G por tanto, los pasajeros se quedan sin conectividad móvil de voz y datos. Existe la opción de habilitar celdas "small cells" distribuidas por todo el trayecto del tren de forma que se cubra la totalidad de la cobertura, sin embargo esa posibilidad a menudo es muy costosa e inviable. En este escenario, una solución más efectiva consiste en disponer de una small cell a bordo del tren que se conecte con el core network del operador a través de tecnología de backhaul satélite de forma que se habilite en el interior del tren una celda de conectividad 3G/4G que pueda ser utilizada por los pasajeros del tren durante todo el trayecto. El elemento crítico de este desarrollo es la antena satélite, ubicada en el techo del tren y que debe ser capaz durante todo el trayecto de mantener el apuntamiento al satélite, las antenas que funcionan de esta forma se llaman antenas auto-apuntables (auto-tracking) y necesitan ser giroestabilizadas. Actualmente, este tipo de antenas es capaz de conseguir disponibilidades del 100% excepto cuando se entra en zonas de túneles que la conectividad con el satélite se pierde y el servicio se interrumpe. Otro elemento crítico es el desvío de frecuencia debido a la velocidad que se produce por efecto doppler, y que requiere de adaptación en los sistemas involucrados. Es importante también en este tipo de entornos disponer de equipamiento encargado de hacer caching local de contenidos, de forma que si dentro del tren algún pasajero ya se ha descargado una web (p.ej un periódico digital), cualquier otro pasajero que se intente descargar la misma web será servido directamente desde el servidor caché de forma que la experiencia de usuario mejore notablemente. Por otro lado, dado que habitualmente hay varios trenes que funcionan concurrentemente sobre la misma línea, se hace recomendable utilizar mecanismos de asignación dinámica de ancho de banda (mecanismos DAMA), los cuales permiten configurar una determinada capacidad para todos los trenes de la línea y compartir dinámicamente entre todos ellos el ancho de banda, de forma que si algún tren está parado en la estación o no tiene apenas pasajeros pueda transferir dinámicamente parte de su capacidad asignada no utilizada a los otros trenes que si estén en ese momento demandando capacidad.

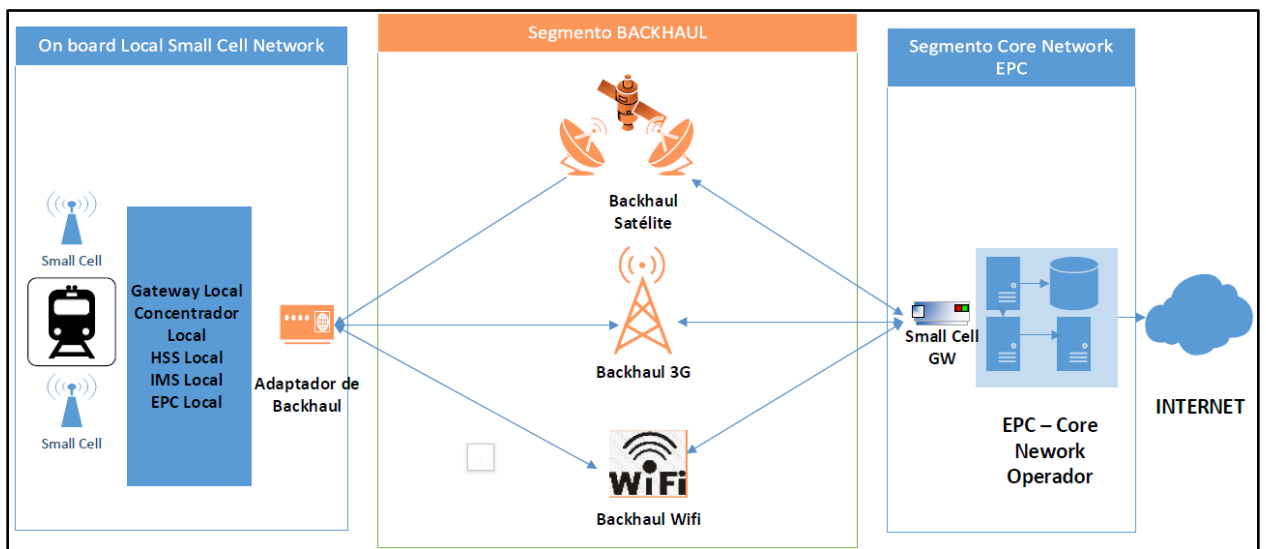


Figura 6. 2. Arquitectura de Red Backhaul en entorno ferroviario

Como se observa se combinan hasta tres tecnologías de backhaul, por un lado tecnología wifi cuando el tren está en estaciones, por otro lado, tecnología celular cuando el tren pasa por ciudades con buena cobertura 3G HSPA/HSPA+ o LTE y por último tecnología satélite cuando el tren pasa por zonas donde no hay cobertura celular, para ello se dispone de un equipo inteligente capaz de conmutar de tecnología cuando detecta la presencia de cada una de ellas.

### **6.5.3 Escenario militar**

#### **6.5.3.1 Introducción del escenario militar**

El escenario militar es un escenario muy específico donde los esquemas de conectividad deben cumplir una serie de requisitos muy estrictos como son:

- Sistema pequeño y ligero: Los sistemas de comunicaciones militares necesitan en muchas ocasiones ser desplegados de forma extremadamente rápida, y además tiene que proporcionar comunicaciones seguras, fiables y robustas con capacidad dedicada en áreas a veces hostiles con poca o ninguna infraestructura. Equipamiento pequeño y discreto también puede ser necesario para operaciones encubiertas en refugios.
- Proporcionar cobertura localizada y capacidad dedicada en terrenos adversos: La localización de los puntos de acceso o estaciones base puede cambiar rápidamente en el frente de batalla por lo que las capacidades de rápida re-configuración se tornan clave en esos escenarios, por tanto deberán ser auto-configurables, robustos, reforzados y auto-recuperables. Las estaciones base y terminales pueden ser incluso montados en vehículos UAV para proporcionar cobertura móvil con el despliegue. Igualmente el acceso al espectro durante la batalla supone un reto y debe ser dinámicamente auto-configurable, o bien estar oculto a través de esquemas como "espectro ensanchado"
- Interoperabilidad con todo el rango de diferentes fuerzas militares y naciones: Las redes celulares y su equipamiento siguen estrictas normas de estandarización lo que contribuye a facilitar la interoperabilidad entre diferentes fuerzas militares y naciones. Además permite el roaming entre naciones
- Resistente a condiciones extrema: Todo el equipamiento militar involucrado deberá estar diseñado de tal forma que sea suficientemente resistente para sobrellevar las duras condiciones de operación del entorno militar.

#### **6.5.3.2 Factores impulsores del escenario militar**

- LTE permite costes reducidos y mayor funcionalidad respecto los sistemas a medida: Tradicionalmente, los elevados presupuestos de I+D de los cuerpos militares permitían la adquisición de sistemas de radio-comunicaciones a medida más avanzados que los sistemas celulares comerciales, con la llegada de LTE, esta circunstancia ya no se cumple, ya que LTE permite desplegar tecnología adaptada para estos entornos a coste más reducido, con funcionalidades mejoradas y ciclos de adquisición menores que los sistemas "a medida" tradicionales
- Los sistemas celulares facilitan la integración de nuevas aplicaciones que mejoran la eficiencia operativa de las misiones:
- Permite mejor comunicación en operaciones logísticas para llevar suministros a las ubicaciones adecuadas.
- Conciencia de la ubicación a través de enlaces de video en tiempo real.
- Los vehículos y otros dispositivos remotos requieren de señalización de control remota para su operación. Además también toda la flota de vehículos pueden requerir intercambiar la información de localización, ayuda a la navegación, información de mantenimiento, etc
- Permite usar tecnología M2M para ayudar a localizar y enrutar toda la cantidad de equipamiento y suministros requeridos para ser desplegados.
- "Redes de Moral": Una conexión segura para que el personal militar pueda contactar con su familia y amigos cuando los soldados están desplazados durante largos periodos ayuda a retener al personal militar y a mejorar su moral.

### **6.5.3.3 Descripción y arquitectura del esquema de backhaul**

La arquitectura de backhaul de estos escenarios está compuesta típicamente de una única small cell que cubre toda la zona de acción necesaria. En cuanto al equipamiento de backhaul se utiliza equipamiento específico, normalmente vehículos capaces de portar el sistema de comunicaciones y también es muy habitual la utilización de equipos satélite compactos denominados "man packs" [12]

## **6.5.4 Escenario Desastres y labor humanitaria**

### **6.5.4.1 Introducción del escenario**

Cuando ocurre un desastre de gran magnitud en algún lugar del mundo (terremotos, tsunamis, huracanes, etc), las infraestructuras existentes de comunicaciones móviles se pueden ver completamente afectadas dejando totalmente incomunicada la zona afectada. La recuperación de las infraestructuras de comunicaciones dañadas, dependiendo del daño



sufrido, pueden llegar a tardar semanas. En este escenario, es posible desplegar de forma inmediata, en pocas horas, un sistema de comunicaciones celular, y ubicar puntos de cobertura 3G/4G con small cells y red de backhaul satélite de forma que se consigan restablecer una serie de áreas primarias de cobertura de voz y datos para iniciar los trabajos de coordinación de la labor humanitaria.

#### **6.5.4.2 Factores impulsores**

- Reconocimiento de que la tecnología inalámbrica es clave en estas operaciones: La tecnología inalámbrica es clave en el delicado arranque de buscar equipos y logística en situaciones de recuperación de desastres y ayuda a las comunidades locales al restablecimiento inmediato de las comunicaciones. Hay ejemplos de la importancia de este requisito en la recuperación de las comunicaciones durante el paso del tifón Bopha en Filipinas [13]
- El rápido re-establecimiento de las comunicaciones operacionales mejora la coordinación de la asistencia en los primeros momentos que resultan claves en el salvamento de vidas: Se pueden enviar imágenes y videos del estado real de la situación que permitan a los centros de control tomar conciencia de la situación y dirigir las operaciones de forma más coordinada. Tecnologías de Celdas Abiertas (Open cells) son claves en este tipo de situaciones para permitir a cualquier usuario acceder a una red celular abierta.
- Las comunidades mejoran la asistencia con la capacidad de conectarse con amigos y familiares a través de la conectividad móvil: Inmediatamente después de un desastre son constantes las llamadas entre familiares y amigos, si se restablecen las comunicaciones, estas llamadas pueden llevarse a cabo y así se facilita la asistencia. Por otro lado, la recuperación de la conectividad de voz y datos también ayuda al restablecimiento de muchos servicios indirectos dependientes de la red celular.
- Incremento de la conciencia internacional: Con la mejora de la tecnología de datos los periodistas pueden enviar las crónicas en directo de lo que pasa en los primeros momentos del desastre y toda la comunidad internacional puede ser más consciente de las consecuencias y también ser consciente de si las medidas de asistencia están siendo gestionadas adecuadamente.

#### **6.5.4.3 Descripción y arquitectura del esquema de backhaul satélite**

En este escenario es habitual la utilización de kits integrados denominados manpacks. Estos kits integran en una maleta compacta todo un sistema completo de comunicaciones satélite que permite habilitar en pocos minutos una conexión de datos de alta velocidad para el establecimiento de la red de backhaul 3g/4g. La ventaja de estos kits es que todos sus componentes caben en una maleta de unos 15kg de peso y reducidas dimensiones para incluso ser transportada en un avión comercial de línea regular.

## **6.5.5 Escenario industria remota**

### **6.5.5.1 Características generales del escenario**

Algunos tipos de industria como la extracción de minerales, gas y combustibles fósiles (petróleo) se realizan en lugares remotos completamente alejados de cualquier zona de cobertura móvil e incluso se ubican en plataformas en medios de los océanos (Siberia, Groenlandia, etc) En estos lugares, muchas veces se desplazan comunidades de trabajadores tanto para las labores de instalación de las infraestructuras de extracción como para el mantenimiento de las mismas. En este contexto, es posible desplegar una solución de comunicaciones móviles 3G/4G a través de small cells donde el backhaul se haga a través de satélite, de esta forma se consigue dotar de comunicación de voz y datos a toda la comunidad.

### **6.5.5.2 Factores impulsores**

- Mejora de la eficiencia operacional por la posibilidad de trabajar de forma remota y permitir la evaluación de la situación: Para los usuarios de la industria remota la recolección de datos y mejora de procesos es clave para el máximo aprovechamiento de los recursos naturales. Estos entornos operativos pueden ser potencialmente peligrosos por lo que necesitan de frecuente control remoto tanto de equipamiento como de vehículos. Los sistemas basados en CCTV por la red móvil para la evaluación remota de la situación están incrementando su uso en las localizaciones remotas como en los pozos de extracción petrolífera, donde sería muy costoso transportar a un ingeniero al lugar o en ocasiones demasiado peligroso de inspeccionar sin desconectar los procesos de extracción.
- Mejora de la retención del personal: Proporcionar servicio de datos y voz por red móvil convencional a las comunidades de trabajadores desplazadas en estos lugares durante largas temporadas influye de forma positiva en la moral de los trabajadores y consecuentemente en su estancia en este tipo de compañías
- Coste asumible: Este tipo de industrias son entornos de alta tecnología, donde el coste de implantar una solución celular no tendría mucho impacto económico en comparación con los ingresos y beneficios que se obtienen.

## **7 ANALISIS DE PROVEEDORES DE EQUIPAMIENTO BACKHAUL SATELITE**

### **7.1 Introducción**

Desde la industria satélite se está percibiendo con gran expectación el futuro potencial de crecimiento que puede suponer el despliegue de tecnología LTE en los mercados rurales y remotos. Conectar a “los desconectados” se está convirtiendo cada vez más en una prioridad para gobiernos e instituciones sensibles a la importancia de la conectividad celular para el desarrollo socio-económico y por tanto las expectativas de crecimiento de este mercado son potencialmente muy altas. La tecnología LTE y las small cells brindan un nuevo escenario de mayor flexibilidad donde la tecnología satélite de backhaul encaja de manera óptima en escenarios rurales y remotos tanto es así que los principales proveedores de tecnología satélite están perfilando sus “roadmaps” con equipamiento específico adaptado a soluciones de backhaul para small cells LTE. En los últimos años el aumento de la participación de estos proveedores de tecnología de backhaul satélite en foros internacionales dedicados a las small cells y redes móviles es cada más evidente, su participación en foros como “Mobile World Congress”, o “Small Cell Forum” son solo un ejemplo. En este capítulo se presenta un análisis de las soluciones tecnológicas que hoy en día presentan algunos de los principales proveedores de equipamiento de backhaul satélite, se analizan sus propuestas y su roadmap futuro.

### **7.2 Proveedor Gilat**

#### **7.2.1 Presentación corporativa del proveedor**

Gilat es uno de los principales proveedores líderes mundiales de productos y servicios de comunicaciones de banda ancha por satélite. Tiene una experiencia de más de 25 años en el sector y más de un millón de productos entregados a más de 90 países. Sus clientes son principalmente proveedores de servicios satélite y operadores satelitales los cuales Gilat proporciona todo tipo de soluciones de comunicaciones satélite incluyendo tecnología, servicios de internet, tecnología VSATs, backhaul celular 2G/3G/LTE, customización para redes de comunicaciones rurales, industria remota, Ku/Ka, etc.

Gilat destaca también por ser líder en tecnología satélite para entornos de transporte, militares y de seguridad pública a través de implementar comunicaciones "on the move" (SOTM) a bordo de cualquier vehículo de transporte ya sea marítimo, aéreo o terrestre. Dentro del mercado de movilidad, Gilat es capaz de proporcionar antenas de tipo "bajo perfil" y amplificadores de estado sólido que simplifican la puesta en producción de esta tecnología sobre vehículos en movimiento.

En cuanto a propuestas para la tecnología de small cells, Gilat es participante activo en varios foros internacionales, entre ellos en SmallCellAsia, Mobile World Congress y en LTE Latín América donde es sponsor Silver.

## 7.2.2 Solución de backhaul celular que propone Gilat

Gilat propone una solución para despliegue de una red celular 3g/LTE que integra el equipamiento de Small Cell con el equipamiento de backhaul satélite propiamente dicho. La solución está perfectamente optimizada para funcionamiento sobre enlace satélite y su principal ventaja radica fundamentalmente en que no hay dependencia de terceros, con lo que la integración se simplifica y los posibles problemas de compatibilidad desaparecen.

En la siguiente figura se detalla el esquema de red y los componentes que forman la solución de Gilat:

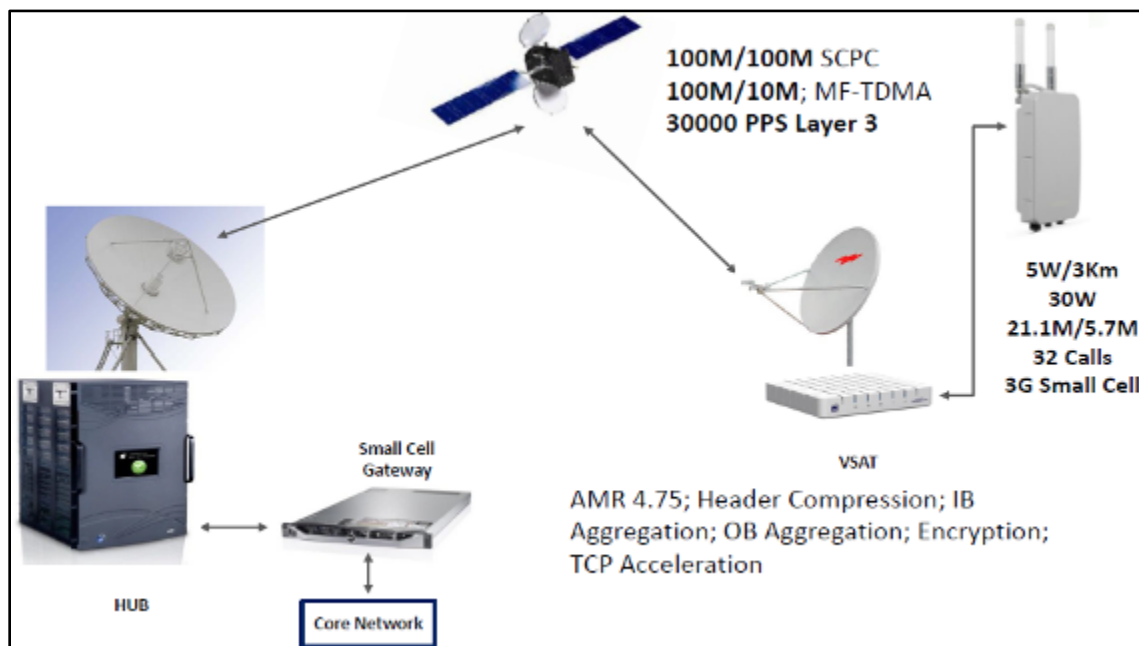


Figura 7.1. Esquema de Red Small Cell Sistema Comercial Gilat

Los componentes que se identifican se describen a continuación:

- **Nodo Small Cell - Cell Edge / Gateway:** Es un dispositivo Small Cell (formado por el nodo remoto y el GW) desarrollado íntegramente por Gilat, con capacidad LTE y 3G HSPA+, sus principales características son:

- Soporta operación para telefonía móvil celular LTE, 3G y 2G en las bandas de frecuencia más comunes, todas ellas sobre tecnología por división de frecuencia dúplex (UMTS-FDD)

Banda	Banda (MHz)	Banda de Subida (MHz)	Banda de Bajada (MHz)
Banda I (IMT)	2100	1920-1980	2110-2170
Banda II (PCS)	1900	1850-1910	1930-1990
Banda III (DCS)	1800	1710-1785	1805-1880
Banda IV (AWS)	1700	1710-1755	2110-2155
Banda V (CLR)	850	824-849	869-894
Banda VIII (E-GSM)	900	880-915	925-960

*Tabla 7. 1. Bandas Frecuencias Cell Edge Gilat*

- \*Un Teléfono móvil Samsung Galaxy S4 vendido en España soporta según specs las bandas: GSM 850 / 900 / 1800 / 1900 - HSDPA 850 / 900 / 1900 / 2100 - LTE 800 / 1800 / 2600
- \*Las bandas de frecuencia en España para 3G son (900, 2100MHz) y para LTE (800, 1800, 2600)
- Capacidad para hasta 24 usuarios simultáneos a una tasa máxima total de 21.1Mbps de bajada y 5.7Mbps de subida. Hasta 32 llamadas simultáneas. Rango de Operación hasta 3km
- Soporta también la opción de operación Wifi de forma integrada en la banda de 2.4GHz (802.11b/g/n) y hasta 26dBm de PIRE
- Dimensiones reducidas (39.5x19,7x7,5) cms, peso reducido (4.5kg) lo que facilita su ubicación e instalación. Gilat incluso proporciona opcionalmente el poste metálico para su ubicación.
- Preparado para operación en exterior. Soporta temperaturas desde -55°C hasta +60°C. Soporta hasta 100% de humedad. Y cumple los principales estándares de fiabilidad y funcionamiento en exteriores: vibraciones ETSI 300 019-2-4 V2.1.1, estándares de Seguridad IEC y estándares de compatibilidad electromagnética (EMC) tanto para FCC (organismo regulador americano) como para ETSI (organismo regulador europeo)
- Características Radioeléctricas: Soporta una potencia de Transmisión que va desde 100mW (20dBm) hasta 5W (37dBm). Soporta RX diversity (técnica de recepción usada para mitigar el efecto del multi-trayecto de la propagación de la onda radio-eléctrica)
- Consumo eléctrico: el consumo eléctrico es mínimo, según especificaciones éste no llega a 30Wattios, lo que facilitar su alimentación eléctrica con batería alimentada a través de paneles solares

- Sincronización: Se realiza a través de dispositivo GPS integrado.
- Interfaces: Soporta conexión local estándar de red 10/100 BaseT RJ45 para conexión con el modem satélite. Soporta conectividad small cells estandarizada para conexión con los dispositivos móviles y con el core network (luh-interface 3GPP Release 9, 3GPP TS25.467, 3GPP TS25.468, TS25.469) y soporta interfaces de gestión (TR-196-TR-069 (small cell) e interfaces SNMP, web (HTTPS), CLI (SSH Telnet) y FTP.
- Modem Gilat Capricorn: El modem Gilat Capricorn es el modelo más avanzado de Gilat y está específicamente diseñado para soportar servicios de backhaul celular 2G/3G/LTE. Con este modem es posible alcanzar velocidades de hasta 200Mbps. A continuación se describen sus características técnicas principales:
  - Canal Forward: El canal forward funciona bajo estándar DVB-S2 + ACM. Modulaciones QPSK, 8PSK, 16APSK y 32APSK. Codificación LDPC y BCH y FEC desde 1/2 hasta 9/10. En cuanto a la tasa de símbolo, soporta portadoras que estén en el rango desde 1.5Msps hasta 67Msps (250Mbps)
  - Canal Retorno: En el canal de retorno se tiene un esquema de acceso basado en MF-TDMA con canales dinámicos. Modulaciones QPSK y 8PSK, codificación TPC (Turbo Product Codes) con FEC 1/2, 2/3, 3/4, 4/5 y 6/7. En cuanto a la tasa de símbolo, soporta portadoras que estén en el rango desde 128ksps hasta 4Msps.
  - Características IP: Soporta los siguientes protocolos IP: DHCP, NAT/PAT, caché DNS, IGMPv2, SIP, DiffServ, VLANs, RIPv2, Rutas estáticas, Ipv6.
  - Características de Seguridad: Soporta encriptación AES-256 integrada, dispone de un cliente IPSEC, soporta Firewall ACL (Access control list) y también soporta autenticación basada en el estándar x.509.
  - Características de Prestaciones: Soporta aceleración TCP, soporta HTTP web prefetch y compresión. Soporta 3g/LTE aceleración de datos móviles. Soporte de políticas de calidad de servicio que son compatibles se pueden mapear con las basadas en 3g y LTE.
  - Interface RF: Dispone de interfaces RF para conexión al equipamiento RF de la antena satélite, por un lado un conector F (75ohms) para conexión al Transmisor de la antena en banda L (950-2300MHz) y por otro lado un segundo conector F para conexión al receptor de la antena también en banda L.
  - Interface de Datos: Dispone de una única conexión Ethernet 10/100/1000 BaseT RJ45 que se conecta al dispositivo Small Cell

- Interface de Gestión: Dispone de una interface web para gestión local del equipo y también la opción de gestión remota ("over the air") a través de conectividad SNMP.
  - Diseño físico, tamaño y conexión: Diseñado para operativa en interiores. Tamaño muy reducido (ancho x profundo x alto) (15,3cm x 14cm x 3.5cm), alimentación eléctrica estándar (100V-240V AC) y rango de operación de temperatura de 0° a 50°.
- HUB Gilat – Sky Edge C – HUB: El HUB es el sistema que concentra la comunicación con todas las VSATs Gilat desplegadas formando una topología punto-multipunto. Sus características y prestaciones principales son:
    - Escalable: El Hub está diseñado para soportar las necesidades de cualquier Operador y se puede adquirir en un formato básico y luego ir aumentando sus prestaciones a medida que se van agregando nuevas redes, se habilitan nuevas bandas de frecuencia, nuevos transpondedores y se incrementa el número de terminales. Esta escalabilidad permite empezar con una inversión básica y luego ir creciendo en función de las necesidades. Las prestaciones se incrementan bien con nuevo hardware o bien a través de licencias de operación. El HUB es capaz de funcionar en banda C, Ku o Ka (Spot Beams)
    - Integrado para funcionar en múltiples mercados: El HUB está preparado para funcionar en cualquiera de los segmentos de mercado de comunicaciones de banda ancha por satélite tales como: Mercado de internet residencial, mercado corporativo, mercado de backhaul celular, mercado de movilidad, SCADA, militar, etc.
    - Operativa en modelo VNO: El HUB permite funcionar en diferentes esquemas de Virtual Network Operator, es decir, permite establecer políticas de acceso a los ISPs para el control, gestión y monitorización específica de sus redes, existe la posibilidad para el ISP de tener varios niveles de control, desde el control completo que implicaría la gestión de porciones de HW dentro del HUB hasta control delegado donde el ISP únicamente gestiona la capacidad dedicada (Mbps) que se asigna a sus redes y a sus terminales VSATs.
    - Arquitectura diseñada para alta disponibilidad: El HUB está completamente redundado en todos sus puntos, para ello dispone de un sistema de gestión centralizado que ejerce control sobre la disponibilidad de todo el sistema. Este sistema es capaz de detectar cualquier fallo en cualquier equipo y conmutar de forma automática a su par de backup. El HUB está incluso preparado para su gestión completa en remoto, lo cual reduce los costes OPEX ya que evita toda necesidad de desplazamientos.
    - Capacidades: El HUB soporta hasta 1000 portadoras definidas sobre cualquier número de transpondedor, satélite o haz. En cuanto a número de terminales soporta hasta 2.000.000 de terminales conectados.

- Prestaciones PEP (Performance enhancing proxy): Soporta de forma integrada en el propio HUB prestaciones PEP como aceleración TCP, compresión y prefetching HTTP, compresión de cabecera RTP, SIP aware VoiP, compresión de cabecera IP, aceleración de datos móvil-celular.
- Prestaciones QoS: Soporta de forma integrada el establecimiento de políticas de QoS como definición de políticas DiffServ, y definición multi-nivel de parámetros CIR y MIR (nivel usuario y nivel grupo de usuarios)
- Servicios de accounting: Soporta definición de políticas de Cuotas de forma que se puede controlar el consumo de los usuarios por volumen y limitar su capacidad cuando alcanzan una determinada cuota. Permite cuotas independientes en FW y RTN, permite compra de Cuota (compra de Gbytes), permite definir franjas freezone, resetear Cuotas, etc.

### **7.2.3 Análisis de principales fortalezas de la solución**

Se identifican las principales ventajas:

- Sistema integrado completamente por Gilat (Small Cell + Backhaul) Gilat es el único proveedor del mercado que dispone de una solución integral de small cell + backhaul satélite extremo a extremo, eso aporta una gran ventaja ya que se asegura que todos los componentes sean compatibles y también porque se optimiza al máximo la inter-operabilidad entre componentes dando como resultado mejores tasas de eficiencia, simplicidad en la configuración y simplicidad en la gestión del equipamiento.
- Solución híbrida basada en SCPC y TDMA: El Sistema Gilat combina los 2 esquemas principales de acceso a los recursos SCPC y TDMA. El caso SCPC está indicado para despliegues temporales y de pocos terminales y en el caso TDMA para despliegues masivos ya que permite ahorros considerables de BW a medida que la red va creciendo por efecto de la asignación dinámica y la multiplexación estadística lo cual es especialmente destacado en el Servicio de datos ya que presenta patrón de consumo de tráfico basado en ráfagas.



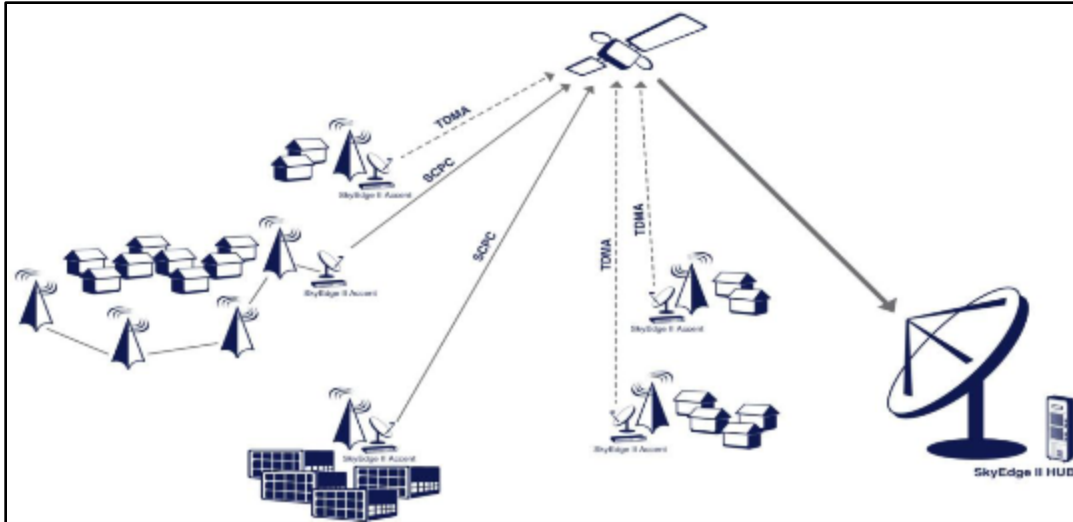


Figura 7. 2. Esquema híbrido SCPC/TDMA Solución Comercial Gilat

- Potentes mecanismos de ingeniería de Tráfico: Gilat dispone de forma integrada de potentes mecanismos para la gestión y el dimensionado de tráfico a través de políticas de QoS que son compatibles y mapeables con las políticas definidas en LTE.
- Compatible con aceleración GTP integrada: GTP (GPRS Tunneling protocol) es un protocolo basado en IP/UDP usado en las redes GSM, UMTS y LTE. Este protocolo encapsula los datos de usuario y señalización aportando numerosas ventajas en términos de seguridad, flexibilidad y gestión.

#### 7.2.4 Debilidades detectadas

- Debilidades que presenta la solución integrada Cell Edge:

Diseño Integrado pero sin capacidades de virtualización: Gilat se ha centrado en el diseño de un producto integrado y por ello ha desarrollado una unidad small cell integrada en su arquitectura de backhaul que si bien aporta multitud de ventajas a nivel de integración también implica que no se abra la posibilidad de usar equipamiento de terceros de empresas especializadas en el diseño de small cells, las cuales pueden proporcionar equipamiento de mayores prestaciones y mayor granularidad de especificaciones para adaptarse a diferentes escenarios. En especial, la solución de Gilat no contempla opciones de arquitectura virtualizada, lo cual le resta flexibilidad de diseño.

### 7.2.5 Experiencia de Gilat en backhaul celular

Si bien, la aparición de soluciones de backhaul de smalls cells es relativamente reciente en las comunicaciones por satélite, Gilat atesora varios casos de experiencia probada en el despliegue de este tipo de redes como los casos que se describe a continuación:

- Cliente Ruralcom Networks: El 2 de Marzo de 2015, Gilat anunció en nota de prensa que fue seleccionada por parte de Ruralcom como proveedor principal para el despliegue de comunicaciones 3G en zonas rurales de Canadá contiguas a la autovía de Alaska que tienen una longitud de 1685kms. Está prevista la expansión de la red y agregación de nuevos nodos small cells durante la segunda mitad de 2015. La solución de Gilat proporciona conectividad 3G HSPA+ y en un futuro LTE, incluyendo voz, SMS, y servicio de datos tanto para suscriptores de RuralCom como para otros suscriptores de otros operadores. La solución Gilat basada en su sistema CellEdge 3G fue diseñada con el fin de reducir al máximo los costes OPEX mediante la reducción del segmento espacial necesario así como la reducción del CAPEX [14]
- Cliente TIM Brasil: El 30 de Octubre de 2014, Gilat anunció en nota de prensa del exitoso despliegue de una solución 3G HSPA+ basada en su sistema "Cell Edge" de small cells sobre satélite para el cliente TIM (segundo Operador de Brasil) sobre 20 localizaciones rurales de Brasil en la región rural de Paraná. Gilat asumió para este cliente la completa responsabilidad del despliegue, asegurando que el proyecto pudiera ser entregado en tan solo 2 meses incluyendo la adquisición del sitio, el suministro de energía, la torreta, la instalación, la integración al core network de TIM y finalmente el procedimiento de test de aceptación. Gilat pudo desarrollar íntegramente todo el proyecto gracias a su solución integral "Cell Edge" que integra la small cell, la VSAT, la estación base, la torre, suministro de energía, logística, instalación y rápido y fácil despliegue. Y todo ello con la eficiencia del Sistema TDMA de Gilat que permite la asignación de capacidad (BW) de forma eficiente. [15]

### 7.2.6 Roadmap futuro

Gilat propone las siguientes mejoras para su roadmap futuro:

- Evolución de su modem satelital para soportar hasta 200Mbps/10Mbps en modo TDMA y 100Mbps/100Mbps en modo SCPC
- Desarrollo de una solución que integra modem satélite y unidades RF (Inb y buc) en una única estructura en versión preparada para funcionamiento en exterior.
- Desarrollo de nuevos esquemas de modulación más potentes y eficientes (16QAM)
- Integración de chipset DVB-S2X que integre las nuevas funcionalidades que permite el nuevo estándar DVB-S2X (soporte de hasta 400Msps en la portadora FW)

- Capacidades de “Automatic Beam Switching” para permitir roaming entre haces en los mercados de movilidad (marítimo, aéreo y ferroviario)

## 7.2.7 Estimación de costes

En la estimación de costes se debe estimar por un lado los costes implicados en el equipamiento remoto y por otro lado los costes relativos al equipamiento del Nodo central o HUB

- Coste estimados de elementos remotos:
  - Modem Gilat Capricorn: ~1000€
  - Equipamiento ODU (Antena + LNB + BUC): ~500€
  - Small Cell Gilat – Cell Edge: ~5000€
  - Sistema completo de soporte (Poste + Panel Solar + Baterías):~1500€
- Coste estimados de concentrador HUB:
  - HUB Gilat SkyEdge II-C: El HUB Gilat está diseñado para ser un Sistema flexible y escalable lo que permite crecer en capacidad y prestaciones según se vayan aumentando los requisitos de la red. El coste de un HUB depende de numerosos factores de negociación, aunque típicamente una configuración básica completa que sea capaz de proporcionar una Forward completo y una estructura completa de retornos tiene un coste aproximado de ~200.000-300.000€

\*Los costes de equipamiento son estimados y dependen de múltiples factores de negociación con el proveedor tales como: volumen de compra, potencial del proyecto, nivel de riesgo, grado de acuerdo, etc. Por lo que puede haber una variación de +-20%

## 7.3 Proveedor Idirect

### 7.3.1 Presentación corporativa

Idirect es una compañía global líder en comunicaciones IP por satélite. En la actualidad es proveedor de servicios y tecnología para más de 350 Service Providers y es Partner de multitud de Operadores satélite. Durante más de 20 años, Idirect ha sido capaz de desarrollar su actividad encontrando el equilibrio entre coste y tecnología a través de la compleja industria satélite. Hoy Idirect continúa estableciendo nuevos estándares en rendimiento y eficiencia haciendo posible la entrega de voz, video y conectividad de datos en todo el mundo.

Los ISPs utilizan tecnología Idirect para multitud de servicios como extender redes privadas a oficinas remotas, proporcionar conectividad celular móvil por tierra, mar y aire, entregar acceso de ancho de banda de alta velocidad a regiones emergentes, expandir redes celulares en áreas rurales, proporcionar comunicaciones gubernamentales y militares, etc.

Los parámetros principales de la compañía Idirect son los siguientes:

- Fundada en 1994.
- Propiedad de VT System, una subsidiaria de ST Engineering.
- Más de 600 empleados.
- Más de 350 Proveedores de Servicio en mercado global.
- 57% del mercado de Hubs en el mundo.
- Líder en mercados de movilidad, militar/gubernamental y backhaul celular.

### 7.3.2 Solución de backhaul celular que propone Idirect

En cuanto a soluciones de Backhaul celular, Idirect presenta un enfoque diferente al que propone Gilat. En el caso de Idirect no se cuenta con un desarrollo propio completo que integre el equipamiento de backhaul con el de la small cell, no obstante, Idirect asegura que su sistema de Hub y terminales es perfectamente compatible con muchos de los principales desarrolladores de small cells (Huawei, Ericsson, Lemko, IP.Access, etc). De hecho hay numerosos casos probados donde integradores externos son capaces de proporcionar una solución completa de small cell utilizando una combinación de tecnología Idirect para el servicio de backhaul y tecnología de terceros para el servicio de small cells.

Por tanto, la solución de Idirect, denominada por Idirect con el nombre comercial de "Idirect SatHaul" se focaliza exclusivamente en el segmento de backhaul y para ello propone un diseño de HUB y terminales optimizados que se describen a continuación:

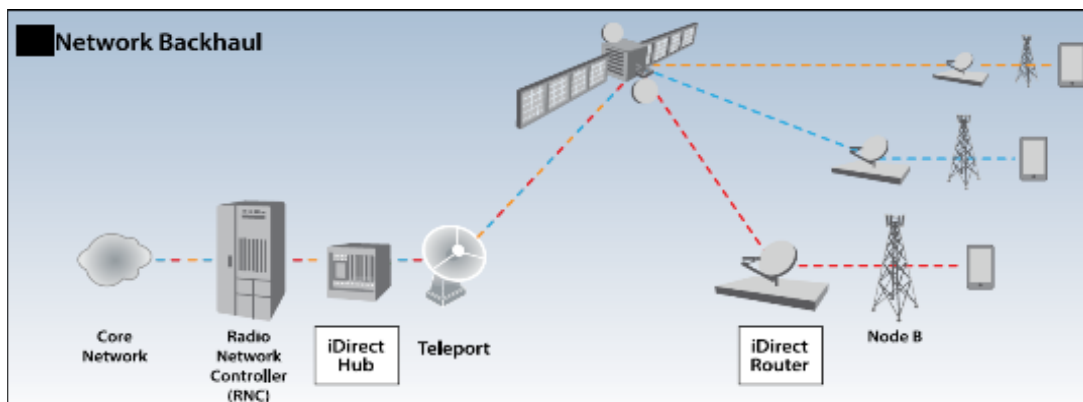


Figura 7. 3 Esquema Backhaul Comercial Idirect

- Modem Idirect: Idirect cuenta con una extensa línea de modems satélite, de los cuales el modem "Evolution X1" en su versión tanto "indoor" como "outdoor" es, según Idirect, el más indicado para el desarrollo de soluciones de backhaul satelital para small cells. A continuación se describen las principales características de este modem:

- Canal Forward: El canal forward funciona bajo estándar DVB-S2 + ACM. Modulaciones QPSK, 8PSK, 16APSK. Codificación LDPC y FEC desde 1/4 hasta 8/9. En cuanto a la tasa de símbolo, soporta portadoras que estén en el rango desde 1Msps hasta 45Msps (~150Mbps)
  - Canal Retorno: En el canal de retorno se tiene un esquema de acceso TDMA basado en esquema propietario de Idirect ligeramente modificado llamado ATDMA. Modulaciones BPSK, QPSK y 8PSK, codificación FEC avanzada propietaria de Gilat denominada 2D 16 State con FEC 1/2, 2/3, 3/4, 4/5 y 6/7. En cuanto a la tasa de símbolo, soporta portadoras que estén en el rango desde 128ksps hasta 4Msps (tasas de information rate hasta 10Mbps)
  - Características IP: Soporta los siguientes protocolos IP: DHCP, NAT/PAT, caché local de DNS, ICMP, y cRTP (Compressed Real-time Transport Protocol)
  - Características de Seguridad: Soporta encriptación AES-256.
  - Características de Prestaciones: Soporta QoS (priorización por colas), soporta esquemas de CIR y MIR (tanto de forma estática como dinámica). Soporta Ipsec, Header and payload compression, VoLTE y aceleración TCP.
  - Local Switching: Soporta, a través de equipamiento externo, la posibilidad de definir esquemas de llamadas de voz entre los usuarios dentro de la misma celda que pueden ser localmente redirigidos sin necesidad de ser enrutados al HUB lo que permite ahorro de ancho de banda y mejora de la experiencia de usuario.
  - Interface RF: Dispone de interfaces RF para conexión a la antena satélite, por un lado un conector F (75ohms) para conexión al Transmisor de la antena en banda L (950-2150MHz) y por otro lado un segundo conector F para conexión al receptor de la antena también en banda L pero esta vez en el rango (950-1700MHz). Soporta tono diseq de 22KHz para el cambio de banda de frecuencias alta/baja del receptor de forma automática
  - Interface de Datos: Dispone de una única conexión Ethernet 10/100 BaseT RJ45 que se conecta al dispositivo externo Small Cell
  - Interface de Gestión: Dispone de una interface web para gestión local del equipo y también la opción de gestión remota ("over the air") a través de conectividad SNMP.
  - Diseño físico, tamaño y alimentación eléctrica: Diseño para operativa en exteriores (soporta 100% de humedad, soporta inmersión IP67). Tamaño muy reducido (ancho x profundo x alto) (26cm x 25,4cm x 7,6cm), alimentación eléctrica estándar (100V-240V AC) y rango de operación de temperatura desde -40° a 60°.
- HUB Idirect – Evolution Series 15000: El HUB es el sistema que hace de nodo central para todas las VSATs y redes desplegadas en la topología punto-multipunto. Sus características y prestaciones principales son:
    - Escalable y Modular: Diseñado para soportar las necesidades de los operadores. Se compone simplemente de un chasis con 20 slots sobre los cuales se van añadiendo

- tarjetas que proporcionan capacidades de FW y RTN. Las tarjetas que se pueden insertar proporcionan capacidades DVB-S2/ACM en el sentido outbound y ATDMA en el sentido inbound. Las tarjetas están disponibles en diferentes modos: demodulador solo, modulador y demodulador, modulador solo, y demodulador multi-canal.
- Integrado para funcionar en múltiples mercados: El HUB está preparado para funcionar en cualquiera de los segmentos de mercado de comunicaciones de banda ancha por satélite tales como: soporte a aplicaciones críticas IP a través de VPN, expansión de redes celulares en entornos remotos y rurales, emergencia, conectividad en entornos de movilidad como barcos, aviones, etc, etc.
  - Operativa en modelo VNO: El HUB Idirect soporta operativa completa en modo VNO, lo que permite a un ISP decidir sobre el grado de operación de red que desea, permitiendo desde solamente visualización de su red de terminales hasta operativa hosting donde el ISP adquiere incluso en propiedad nuevas tarjetas hardware para operativa de redes y ancho de banda sobre capacidad espacial (MHz) contratada.
  - Arquitectura diseñada para alta disponibilidad: El HUB permite redundancia a través de configurar alguna de las tarjetas disponibles en modo "respaldo" del resto de tarjetas (configuración backup N:1)
  - Capacidades: El HUB soporta hasta 5módulos IF y 20 tarjetas. Donde cada tarjeta es capaz de soportar hasta 150Mbps en sentido bajada y hasta 11Mbps(TDMA) o 20MBps (SCPC) en sentido subida
  - Prestaciones QoS: Soporta de forma integrada el establecimiento de potentes políticas de QoS lo que permite a los operadores de red un incremento efectivo de las capacidades de gestión de ancho de banda a través de priorización de tráfico en un entorno de red compartido, lo que se traduce en mejora de la QoE de los usuarios. La configuración de priorización se puede establecer a diferentes niveles (nivel aplicación, nivel sub-red o nivel usuario)
  - Servicios de accounting: No soporta servicios FUP y accounting de forma integrada.

### 7.3.3 Principales fortalezas

Se identifican las principales fortalezas:

- Escalabilidad y Modelo VNO: El Sistema Idirect permite que los Operadores de HUB puedan implementar un modelo VNO (Virtual network operator) modular muy potente a la vez que sencillo e intuitivo. Este modelo permite a los proveedores de servicio la contratación al operador de HUB de una “porción virtual” del HUB lo que supone una opción de gestión y crecimiento flexible para los ISPs sin necesidad de ejecutar grandes inversiones de inicio. Un ISP puede empezar contratando una pequeña porción virtual del HUB para prestar servicio a unos pocos terminales y una sola red y fácilmente crecer en inversión de forma progresiva a medida que crece el número de terminales de su red de usuarios. La simplicidad en la escalabilidad del modelo VNO de Idirect ha sido uno de los puntos fuertes más reconocidos por los proveedores de servicio sobre tecnología Idirect.

- **Movilidad:** Idirect es mundialmente conocido por ser el mayor proveedor de soluciones para el entorno marítimo (hasta un 90% de mercado es copado por Idirect) lo que significa más de 20.000 embarcaciones conectadas mediante tecnología Idirect. Varias son las claves que han llevado a que Idirect sea la referencia mundial en este mercado, entre ellas está su fiabilidad, su simplicidad, su potente modelo VNO y sobre todo por 2 características: en primer lugar el desarrollo del estándar OpenAMIP (es un protocolo IP que facilita el intercambio de información entre la controladora de la antena satélite (ACU) giroestabilizada embarcada en el barco y el propio satélite a través del modem) y en segundo lugar por su capacidad de roaming (ABS-Automatic Beam Switching) que permite al terminal iDirect de una embarcación transferir la conectividad de un beam satélite a otro a través de conectarse a diferentes Hubs a medida que va cambiando de áreas de cobertura, incluso si los Hubs pertenecen a operadores satelitales diferentes. Gracias a estas prestaciones, Idirect está exportando este “know how” tecnológico a otros sectores similares por lo que se está también convirtiendo en la referencia mundial del mercado de conectividad en aviones. Todo ello está facilitando a Idirect integrar su tecnología para el despliegue de redes celulares basadas en Small Cells a bordo de estos medios de transporte.

#### **7.3.4 Debilidades detectadas**

- No dispone de solución integrada (small cell + backhaul celular): Idirect no cuenta con un desarrollo integrado propio que proporcione una solución completa (small cell + backhaul celular), esto obliga a que sea siempre necesario integrar y homologar una solución de equipamiento small cell de terceros sobre el segmento de backhaul celular de Gilat, lo cual debido a las características inherentes del satélite no siempre resulta una tarea sencilla, inmediata y satisfactoria.

#### **7.3.5 Experiencia**

Idirect cuenta con varios casos de experiencia probada en el despliegue de redes de backhaul, los cuales todavía son sobre satélites que no son HTS y por tanto las prestaciones de capacidad proporcionada todavía eran contenidas.

- **Cliente IP.ACCESS:** El 21 de Febrero de 2013, Idirect anunció en nota de prensa del desarrollo exitoso de unas pruebas piloto con la compañía “IP.Access” para proporcionar un sistema de small cell con backhaul celular a través de la integración del modem Idirect Evolution X1 en su versión Outdoor y la small cell de ip access "nano3G". El Piloto simuló una red con capacidad para soportar tasas de hasta 10Mbps en el canal de bajada y hasta 1.2Mbps en el canal de subida así como 24 llamadas simultáneas. Los test validaron la solución para operadores móviles para expandir de forma asequible servicios 3G en áreas remotas.

Las pruebas piloto perseguían analizar dos de los grandes desafíos que se suelen encontrar los operadores móviles, por un lado, cómo extender los servicios de voz y datos en áreas remotas donde los esquemas tradicionales basados en macroceldas son demasiado costosos o incluso

simplemente no son ni siquiera implementables y por otro lado cómo conseguir una conexión de backhaul para tráfico móvil de forma asequible.

Para la prueba piloto se contó con un dispositivo small cell llamado "nano3G" desarrollado por IP.Access. El "nano3G" es un punto de acceso inalámbrico, de baja potencia que proporciona un hot spot de cobertura 3G en el lugar que se ubique ya sea un área pública, privada, en el hogar o en un lugar de negocios. La prueba también contó con el modem satélite Idirect Evolution X1 en su versión "outdoor" el cual opera en coordinación con el dispositivo nano3G para conectar el tráfico de la small cell al core network a través de una conexión backhaul satélite. Este modem es un dispositivo avanzado que funciona completamente en IP y puede compartir el ancho de banda de forma eficiente en modo TDMA entre otras small cells que se instalen. Además tiene la ventaja sobre otras tecnologías de backhaul de que puede ser desplegado de forma rápida y resulta más flexible y más económico en el caso de que se quiera extender el servicio por más territorios rurales.

La prueba realizada constató la oportunidad que tienen los operadores móviles de expandir la conectividad 3G y 4G de forma rentable a zonas remotas, y por tanto se presenta como una atractiva oportunidad de negocio para Operadores para crecimiento de nuevos suscriptores en estos entornos.

- Cliente K-NET: el 12 de Noviembre de 2012, Idirect anunció en nota de prensa que el Proveedor Ghanés K-NET seleccionó como tecnología de backhaul celular la tecnología de Idirect con el propósito de llevar conectividad de voz y datos a regiones rurales de Ghana cuya densidad de población es inferior a 1500 habitantes y las cuales carecían de cualquier sistema de comunicaciones. K-NET seleccionó la plataforma Idirect como segmento de backhaul por su facilidad de integración con esquemas de small cells a un coste bajo y de fácil despliegue. El servicio fue desplegado con el modem Idirect Evolution X1 en su versión Outdoor lo que permitía la capacidad de soportar altos rangos de temperaturas así como conexión a panel solar. La unidad de small cell fue desarrollada por AltoBridge, que fue capaz de proporcionar un sistema que redujo el consumo eléctrico a menos de un 5% de lo que consume un sistema tradicional. Ello fue gracias a un sistema altamente eficiente del fabricante "Ameresco Solar" que permite reducir los costes en comparación con sistema convencionales basados en generadores diésel.

La red recibió financiación inicial del Fondo de Inversiones de Ghana para las comunicaciones electrónicas (GIFEC). El Ahorro de costes de hasta un 65% que supuso la solución de small cells con backhaul satelital propuesta por K-NET permitió ampliar el ámbito del proyecto a 300 lugares adicionales en un intento por parte del gobierno de llegar al 20% de la población que carece actualmente de cobertura móvil. Los gobiernos locales esperan que el servicio permita atraer a inversores y abrir nuevas oportunidades de negocio, así como mejorar la enseñanza y el aprendizaje en las escuelas locales.



### 7.3.6 Roadmap futuro

Funcionalidad Layer 2 over satellite: Idirect prevé lanzar una nueva versión de su HUB (Evolution 3.3 Software) que soporte una nueva funcionalidad llamada (L2oS – Layer 2 over Satellite), esta opción permite a los operadores y proveedores que usan la tecnología Idirect la opción de implementar una red Idirect también en capa 2 (además del modo tradicional en capa 3). El hecho de implementar una red en capa 2 sobre satélite aporta un nuevo nivel de flexibilidad en el diseño de las redes. La funcionalidad L2oS puede emular una conexión a nivel ethernet estándar a través de satélite formando una red extremo a extremo y un camino transparente para los protocolos de la capa 3 o capas superiores. Los terminales remotos iDirect funcionan como switches ethernet que mantienen sus tablas MAC y por tanto se pueden definir mecanismos de negociación para acceso al medio, por ejemplo, se podría gestionar desde esta capa el evitar que dos estaciones transmitan al mismo tiempo o cómo manejar esa situación una vez que suceda, todas estas decisiones de nivel MAC se toman en base a la información de la cabecera ethernet, que circularía a través del enlace satélite gracias a la funcionalidad L2oS.

### 7.3.7 Estimación costes

Como en el caso de la solución para Gilat, en la estimación de costes se debe contemplar por un lado los costes implicados en el equipamiento remoto y por otro lado los costes relativos al equipamiento del Nodo central o HUB

- Coste de elementos remotos:
  - Modem Idirect X1: ~500€
  - Equipamiento ODU (Antena + LNB + BUC): ~ 500€
  - Small Cell Gilat: depende del proveedor y prestaciones.
- Coste de recursos HUB satélite
  - HUB Idirect Evolution: El HUB Idirect, como en el caso de Gilat, es un Sistema flexible que permite crecer en capacidad y prestaciones según vayan aumentando los requisitos de la red. Su coste depende de muchos factores de negociación, y además a través del modelo VNO (Hosting) de Gilat se puede contratar capacidad hardware para empezar a desarrollar servicios con una inversión inferior a 50.000€

## 7.4 Desarrolladores de small cells adaptadas a Satélite

Varias compañías globales de small cells se han especializado en el desarrollo de small cells para entornos rurales y backhaul satélite: Sevis, IP.access, Altobridge, VNL, Vanu, Lemko, Argela. Estas compañías usan versiones adaptadas de small cells para funcionamiento en entornos rurales donde las características son muy particulares: Bajo ARPU, ausencia de alimentación eléctrica estándar, limitación del ancho de banda disponible, auto-instalables y auto-mantenibles, instalación en exterior, etc. No obstante la tendencia de mercado que se observa para el desarrollo

de small cells en el segmento rural y remoto es que sean poco a poco las propias compañías especializadas en tecnología satélite como Gilat, Hughes, Idirect o Viasat las que acaben por diseñar sistemas propios de small cells adaptados e integrados con la tecnología de Hubs y VSATs que desarrollan.

## **7.4.1 Lemko**

### **7.4.1.1 Presentación corporativa**

Lemko es líder en proporcionar servicios 2G, 3G y LTE en áreas remotas donde el satélite es la única opción de backhaul. A través del equipamiento de Lemko se puede establecer una red celular 4G-LTE independiente y autónoma que puede ser optimizada a los requerimientos específicos del entorno (rural, militar, labor humanitaria, etc)

Lemko Corporation, es una compañía fundada en 2005 en Chicago. Su primera red comercial fue desplegada en 2006 y consistía en el despliegue de 700 sistemas en 8 países. Tuvo una participación importante en la dotación y recuperación de las comunicaciones a través del despliegue de small cells durante los desastres del huracán Katrina y el terremoto de Sichuan. En Junio de 2012, Lemko demostró la interoperabilidad de su equipamiento con una red de backhaul satelital a través de la plataforma satélite Hughes para el despliegue de servicios de video llamadas sobre tecnología 4G/LTE. Lemko se está convirtiendo en un actor clave en el desarrollo y despliegue de soluciones de ingeniería y re-ingeniería para conseguir proporcionar servicios de internet y telefonía móvil de forma económica en zonas rurales, destaca por impulsar mecanismos de "plug and play Layer7 IT applications" y "distributed & virtualized RAN" para conseguir desplegar arquitecturas basadas en sistemas celulares que sean ultra económicas ("ultra low cost")

### **7.4.1.2 Solución que propone Lemko**

Lemko dispone de varios modelos de small cell LTE adaptados para funcionamiento sobre satélite, uno de los modelos más indicados para servicios en entornos rurales y remotos es el modelo Lemko EZ LTE. Este modelo implemente una solución completa en sí mismo de eNodeB con soporte EPC/IMS. Además implementa la funcionalidad "SwarmNet" de Lemko que permite a la small cell funcionar de manera independiente y autónoma, o también en modo ad-hoc formando una red de small cells de Lemko que permiten a los usuarios moverse entre diferentes small cells manteniendo los servicios de roaming y handover entre nodos. Las características principales del modelo EZ LTE se describen a continuación:

- Funcionamiento como nodo celular radio eNodeB con implementación de core IPS. Soporta interfaces LTE: PGW, SGW, MME, EPS Core. Soporta base de datos HSS de usuarios y autenticación. Y también soporta full IMS.

- Funcionamiento sobre las frecuencias de trabajo comerciales más comunes tanto en modo LTE FDD como en modo TDD. Permite completa granularidad de anchos de banda de trabajo (1.4MHz/3MHz/5MHz/10MHz/15MHz/20MHz)
- Potencias de Transmisión desde 500mW (2x250mW) hasta 2W. (con antenas 2x2 MIMO). Consumo de 18W con el 100% de uso del equipamiento RF
- Soporta desde funcionamiento de manera fija, montada en un vehículo, hasta incluso "man-portable". Las dimensiones son: (HxWxD) (210x155x82) mm y peso inferior a 3.5kg.
- Soporta datos LTE, Voz LTE y voz "over the top". Capacidades en datos hasta 150Mbps de descarga y 50Mbps de subida (en modo 20MHz). Cobertura de hasta 500metros. Soporta hasta 96 usuarios activos
- Soporta seguridad AES 256 y FIPs. Sincronización GPS y IEEE1588
- La unidad está completamente preparada para su funcionamiento en exteriores, e instalación en entornos adversos. Soporta temperaturas desde -20° hasta +55°, y humedad relativa desde 5 a 95%. Además cumple la norma IP65 de protección frente al agua. Su índice MTBF es >= 350.000horas, y la disponibilidad del equipo está medida en 99.999714% (<1.481min/año). Su índice MTTR es inferior a 1hora.
- Soporta Lemko SwarmNet: Se trata de una tecnología propietaria diseñada por Lemko que proporciona mecanismos eficientes de auto-organización y auto-recuperación en redes celulares móviles OTM (on the move) en entornos severos y con necesidades especiales de RF.
- Referencia de especificaciones técnicas completas en [16].

#### **7.4.1.3 Fortalezas:**

- Fortalezas:
  - Soporta tecnología LTE: Los dispositivos LEMKO, están completamente adaptados para soportar tecnología estandarizada LTE (4G-3GPP). Tiene virtualizado completamente el Core Network en el propio dispositivo LTE (PGW, SGW, MME, EPS Core)
  - Completamente adaptado a satélite y Multi-entorno: La Small Cell de Lemko es una solución completamente adaptada para funcionamiento en combinación con la tecnología satélite y prestar servicios en entornos exigentes. El dispositivo cuenta con características de temperatura, humedad, disponibilidad, resistencia a la intemperie etc que lo hacen completamente valido para su funcionamiento en entornos rurales, catástrofes y desastres naturales, marítimo y aéreo, transporte vehicular terrestre, industria remota (oil&gas), militares, etc

- SON y arquitectura distribuida y Virtualización: Lemko proporciona una solución propietaria que permite auto-organizar de manera automática la comunicación entre nodos, todo ello a través de una solución de virtualización que permite a través de un esquema software, la virtualización del núcleo de red y reemplaza la arquitectura tradicional por una arquitectura basada completamente en IP lo que supone eliminar la realización de backhaul individuales por cada nodo de la red.
- Otras Fortalezas comerciales de la solución LEMKO “coreless” que se pueden destacar gracias a la virtualización del core EPC:
  - El dispositivo EZ permite fácilmente gestionar y mantener una red privada LTE creada por cualquier persona.
  - El dispositivo EZ se puede comprar desde la página web de Lemko vía pago por paypal y es tan simple de instalar y configurar como un punto de acceso wifi.
  - EZ es ideal para empresas, pequeñas oficinas, industrias, mercado rural.

#### **7.4.1.4 Experiencia**

- Servicio LTE en Islas del Pacífico. El 4 de Septiembre de 2013, Lemko junto con el Operador de Telecomunicaciones (Telecom Service Kiribati Limited) y otros partners lanzó la primera solución comercial LTE en islas del Pacífico. El proyecto pretende cubrir un total de 22 islas localizadas en el Océano Pacífico central. La solución de Lemko permite a la República de Kiribati disponer de servicios de alta calidad como datos de alta velocidad o incluso IPTV. Lemko utiliza alguno de sus innovadoras funcionalidades en soluciones para móviles como LTE sobre satélite, red mallada de satélite y núcleo de red EPC móvil distribuido y virtualizado. Con este proyecto, Lemko demuestra su capacidad para superar las barreras de las redes móviles tradicionales y permitir a un país con características especiales como Kiribati poder tener conectividad en todas sus Islas, entre sí y con el resto del mundo a través de backhaul satélite.
- Servicio en áreas rurales de Canadá: El 15 de Agosto de 2013, Telesat, la operadora de satélites principal de Canadá anuncia un acuerdo de colaboración con Lemko para desplegar soluciones avanzadas de telefonía 3G/4G en comunidades remotas y rurales de Canadá. La valoración que hace Telesat de Lemko es que su solución avanzada (basada en la virtualización y distribución del EPC e IMS core) proporciona la posibilidad de realizar un despliegue asequible, accesible y flexible a las demandas del proyecto, y permite a Telesat poder desplegar servicios móviles de Banda Ancha 3g/4G en cualquier parte de Canadá

### 7.4.1.5 Coste

El Coste de un dispositivo de estas características está en el orden de los 6000€[17]

## 7.5 Otro equipamiento utilizado en esquemas de backhaul

### 7.5.1 Generadores de energía alternativa

Muchas instalaciones de small cells con backhaul satélite se realizan en lugares remotos donde el acceso a suministro eléctrico es deficitario o incluso inexistente. Tanto el equipamiento de Small Cell como el encargado del backhaul satélite necesitan ser alimentados eléctricamente para su funcionamiento. En ausencia de red eléctrica tradicional, se deben diseñar sistemas "off grid" que sean capaces de funcionar de forma autónoma e independiente a la red eléctrica convencional. En este caso, la opción disponible más eficaz consiste en disponer de un sistema basado en paneles fotovoltaicos que sea capaz de alimentar a todo el sistema.

#### 7.5.1.1 Componentes de un sistema fotovoltaico

Para una correcta instalación de un sistema fotovoltaico, además de los paneles, es imprescindible la utilización de ciertos componentes tales como cajas de combinación, protecciones DC, conectores, cables especiales que se deben integrar correctamente entre ellos y que se describen a continuación:

- Paneles fotovoltaicos: Existe una gran oferta de este tipo de paneles por parte de numerosos proveedores (ej: ZG Cells). Los parámetros importantes de este dispositivo son por un lado la potencia que pueden generar, que podrá ser seleccionada en función de las características del equipo, según tenga más o menos celdas fotovoltaicas y que vendrá determinada por las necesidades de alimentación, la eficiencia del equipamiento, sus características físicas (número de celdas, dimensiones, peso, etc), sus parámetros de calidad (es típico que se garantice el 100% de la potencia de salida en los 10 primeros años y hasta el 80% de la potencia de salida hasta 25 años) y sus parámetros de robustez (que sean capaces de operar en condiciones extremas de temperatura y viento)
- Estructura de soporte: Los paneles fotovoltaicos deben ser montados sobre una estructura de soporte sólida y adaptada. Hay empresas como "Iroridge" que están especializadas en tipo de montajes específicos para localizaciones rurales y remotas y disponen de un amplísimo catálogo de estructuras para montaje sobre mástil, suelo, techo, etc. Un correcto soporte es un punto clave para evitar gastos innecesarios de ingenieros teniendo que desplazarse a reparar las estructuras.
- Controladores de Carga: El controlador de carga es un dispositivo encargado de regular la carga hacia las baterías y maximizar la transferencia de energía desde los paneles. Existente

diversos tipos para diferentes necesidades y la correcta o incorrecta elección de este dispositivo puede impactar fuertemente en el desempeño del sistema.

- **Baterías:** El Sistema de almacenaje es crítico para la correcta operación de un sistema “off-grid”. Por ello hay que contar con sistemas especializados en instalaciones solares. Existen en el mercado numerosos proveedores especializados en este tipo de baterías (Rolls-Surrete, Deka, etc). Los parámetros más importantes de la batería son por un lado sus prestaciones, determinadas por su Voltaje y Amperios/hora que puede entregar, y por otro lado el número de ciclos de carga-descarga que es capaz de soportar.
- **Inversores:** Un inversor fotovoltaico es un convertidor que convierte la energía de corriente continua procedente del generador fotovoltaico en corriente alterna. Este dispositivo muchas veces no es necesario ya que los equipos de small cell están adaptados para funcionamiento sobre corriente continua.
- **Protecciones y cajas de combinación:** Suele ser necesario la instalación de algunos elementos que protejan la instalación eléctrica como pueden ser protecciones contra sobre corriente, desconectores con fusibles, cajas combinadores, etc.
- **Cables y conectores:** Para asegurar la calidad de las instalaciones y cumplir con las normativas internacionales debe utilizarse cableado especialmente diseñado para sistemas fotovoltaicos en código de colores.

### 7.5.1.2 Dimensionado de una solución fotovoltaica

Los pasos para dimensionar una solución Fotovoltaica son:

1) Determinar el consumo del equipamiento remoto, en el caso que nos ocupa sería (small cell + unidad de backhaul), cuyo consumo de potencia a modo de ejemplo sería:

- **Small cell:** Puede consumir hasta 30W (referencia Small cell Cell-Edge desarrollada por Gilat) [18]
- **Modem Satélite:** Tiene un consumo aproximado de 6W (referencia modem Capricorn Gilat) [19]
- **BUC:** Un modelo estándar que presente 4W de potencia de salida en el punto de compresión 1db (36dBm) tiene un consumo aproximado de 50W (referencia Modelo Njt5017F) [20]. En el caso de que el balance del enlace permita la instalación de equipamiento con Potencia de salida @ 1dB de 2W, el consumo puede bajar proporcionalmente a la mitad (~25W)

Total Consumo Aproximado de una Small Cell puede estar en el orden de los 60W – 100W

2) Definir las horas de operación de la batería. Dependerá de las horas de luz. Típicamente la operación diurna es de 12h por lo que la batería deberá funcionar en la franja nocturna de 12h.

3) Calcular la energía diaria necesaria para operar el equipamiento completo. En nuestro caso sería 100W durante 12 horas (operación nocturna), requeriría entregar una energía de 1200Wh en total

4) A partir del valor anterior, se puede obtener la capacidad requerida de la batería. Dependiendo del tipo de batería, esta no debe descargarse más de un 50% para proteger su vida útil, en este ejemplo la capacidad de almacenamiento necesario sería de 2400Wh. En una batería de 12V, esto equivale a una capacidad de 200Ah. Este debería ser el tamaño mínimo de la batería seleccionada, el cual se debe aumentar para considerar capacidad de respaldo en días de poca radiación solar.

5) A partir del valor calculado en 3, se obtiene también el tamaño del panel necesario para generar dicha energía. El tamaño del panel debe considerar la radiación solar en la zona de instalación. Suponiendo una radiación solar diaria para el mes más desfavorable de 4kwh/m<sup>2</sup>, en el ejemplo se requeriría un panel de  $1200/4 = 300W$ . Este valor se recomienda incrementarlo en al menos un 20% para considerar diversas pérdidas del sistemas (polvo, cables, temperatura, etc)

6) Por lo general, como recomendación de diseño se desea que el sistema sea capaz de operar al menos dos días consecutivos en ausencia de luz solar. Esta consideración obliga a doblar el tamaño requerido para la batería y aumentar el tamaño del panel solar, de modo que genere suficiente energía como para poder operar 12 horas diarias y además inyectar energía adicional a la batería para lograr la autonomía de dos días. Si bien estas condiciones de diseño son deseables se deben analizar con cuidado ya que pueden encarecer en exceso el costo de la solución final.

### **7.5.1.3 Coste**

El coste estimado de la solución completa de paneles solares estaría de forma aproximada en el entorno de los siguientes valores:

- Panel Solar de 320W ~ 500€
- Batería de 429Ah ~ 1000€
- Estructuras de Soporte ~ 150€
- Otros (Protectores, Cajas de combinación, cableado) ~ 100€

### **7.5.2 Sistemas portables manpacks**

En el mercado existen soluciones extremadamente compactas para despliegue de comunicaciones LTE con backhaul satélite. Son soluciones cuyo equipamiento cabe en una pequeña maleta permitiendo transportar de forma fácil y rápida todo el equipamiento de Small cell y backhaul para ser desplegado en pocos minutos.

Este tipo de soluciones son especialmente indicadas para proporcionar servicio en entornos específicos donde se requieran soluciones portables como desastres o catástrofes, militares, cuerpos de emergencias, etc.

El elemento más limitante en cuanto a dimensiones de una solución de backhaul celular es normalmente la antena, para ello, fabricantes como Gilat, Hughes, Thales, Indra, Norsat, han sido capaces de desarrollar soluciones ultra-compactas basadas en antenas que son montadas y desmontadas (incluso la parábola) en diferentes piezas como si de un puzle se tratara.

Como ejemplo de una solución compacta de Small Cell + backhaul satélite tenemos el siguiente equipamiento:

- Small Cell Lemko Portable X4: Lemko tiene entre sus productos, un modelo portable que cuando está activo es capaz de proporcionar una "isla" de cobertura 3G (UMTS, HSDPA, HSUPA). Incluso es posible desplegar varios nodos X4 para crear una red mallada de forma que se extiendan los rangos de cobertura y capacidad. Las características principales del dispositivo son:
  - Soporta las bandas UMTS (850, 900, 1800, 1900, 2100) y conforma un NodoB con capacidades GGSN, SGSN, SMSC.
  - Dimensiones y peso ultra reducidos: (28x44x9) cms y peso 6kgs.
  - Soporta hasta 80 canales de voz, SMS, Video llamadas y datos a alta velocidad.
  - Preparado para funcionamiento en intemperie, rango de temperatura de -25° a 55°.
  - Dispone de una batería de Li-ion integrada.
  - Su aspecto físico es el siguiente:



*Figura 7.4. Small Cell Portátil Lemko*

- Manpack GILAT: Gilat cuenta con varios modelos de Manpack, entre ellos está el modelo SatRanger que se trata de un modelo compacto, ultraligero capaz de integrar la antena, el modem, el LNB receptor, el BUC transmisor, la ACU (Controladora de antena) y la batería, todo ello en unas dimensiones muy inferiores a 1m<sup>3</sup>, exactamente en (76-Largo x 68 Ancho x 80 alto) cms. Entre sus características principales están:
  - Fácil y rápido despliegue y puesta en funcionamiento: Menos de 5 minutos
  - Autoapuntable mediante una ACU (Antenna Control Unit)



- Debido al bajo consumo, 40W, la batería alcanza una duración de hasta 4h.
- Peso: 13.5kg
- Diseño robusto, soporta estándar IP65 y rango de temperaturas desde -20 a +60°C.
- Ganancia de la antena en su versión Ka de 45cm es de 44dBw, la PIRE es de 44dBw y la G/T de 13.2dB/K lo que dependiendo del balance de enlace en el sentido ascendente/descendente puede alcanzar velocidades de transferencia de hasta 2Mbps.
- Su aspecto físico es el siguiente:



*Figura 7.5. Dispositivo ManPack Comercial Gilat*



## 8 CASO DE ESTUDIO COMPLETO

### 8.1 Introducción

En este capítulo se plantea un caso de estudio completo, con el objetivo de presentar una aplicación práctica comercial que concentre gran parte de los conceptos teóricos principales vistos en los anteriores capítulos. El caso de estudio plantea un problema de necesidad de conectividad LTE-4G sobre un escenario remoto donde una solución comercial de small cells basada en tecnología de backhaul satélite se presenta a priori como la alternativa más óptima. El caso de análisis trata de presentar y desarrollar una solución real a un planteamiento ficticio que se asemeja mucho a posibles casos reales comerciales que se podría encontrar una empresa proveedora de servicios LTE en entornos rurales y remotos.

### 8.2 Planteamiento del problema

El problema que se plantea es el siguiente: Importante empresa hotelera española está finalizando la construcción de 6 complejos hoteleros turísticos en la región de las Islas Canarias. Los hoteles se ubican en parajes alejados de las principales urbes y donde no hay cobertura 4G por parte de ninguno de los operadores móviles de ámbito nacional y donde solamente alcanza ocasionalmente cobertura 3G de baja capacidad.

En la figura 8.1 se puede ver la ubicación de los Hoteles y también de forma solapada la cobertura 4G actual a Octubre de 2015 de uno de los principales Operadores nacionales (Orange) [21], donde se observa que para las Islas Canarias la cobertura 4G se concentra únicamente en zonas de Santa Cruz y Gran Canarias quedando sin cubrir el resto de Islas.



Figura 8.1. Distribución de la ubicación Hoteles Islas Canarias y Cobertura 4G "Orange"

La dirección de la empresa hotelera considera que la disponibilidad de servicios de datos de alta velocidad de transferencia sobre la red celular en sus instalaciones es indispensable para poder atraer un mayor número de turistas, así como ofrecer una experiencia más satisfactoria en la estancia en el hotel. Por ello, se plantean la búsqueda de una solución que permita dotar a los 6 complejos hoteleros de conectividad LTE-4G.

Por otro lado, la empresa hotelera dispone también de 4 ferrys que hacen una ruta turística siguiendo el trayecto Barcelona – Mallorca - Ceuta – Casablanca -El Aaiún - Las Palmas – Tenerife. Estos ferrys, una vez se alejan unos pocos kilómetros de la costa, carecen por completo de conectividad de datos por red celular y del mismo modo que en el caso de los hoteles se quieren dotar de servicios LTE de datos de alta velocidad con el mismo propósito de ofrecer una experiencia más completa de servicios a bordo a los turistas.



Figura 8.2. Distribución Trayecto Ferrys

Además de los turistas, el servicio de conectividad celular también sería de gran utilidad para el staff desplazado en los hoteles/ferrys ya que facilitaría el desarrollo de las gestiones administrativas típicas de un hotel como gestión de reservas, carga de tarjetas de crédito con TPV virtual, comunicación con los clientes, etc. además también permitiría la comunicación del personal trabajador con su entorno familiar, lo cual ayudaría a la retención del personal empleado.

El responsable de telecomunicaciones de la empresa hotelera, con el fin de comparar y conseguir la mejor solución disponible en el mercado va a distribuir un documento (RFQ – Request For Quotation) a todos los principales proveedores de soluciones celulares LTE-4G, describiendo en detalle los requerimientos y especificaciones técnicas y económicas deseadas para la dotación del servicio celular LTE en los hoteles y los ferrys.

### **8.3 Descripción de requerimientos del cliente**

El cliente, en este caso, la empresa hotelera, solicita que los participantes de la RFQ (empresas proveedoras de servicios celulares LTE-4G en entornos rurales y remotos) den respuesta a los requerimientos generales, técnicos y económicos que se describen en los siguientes apartados con el fin de conocer las propuestas de los diferentes participantes así como poder hacer una evaluación y comparativa entre ellas.

#### **8.3.1 Requisitos de ámbito general**

- Requisito G1: Detalle de Participantes. Se deberá detallar el consorcio de empresas participantes en la solución, especificando el papel que juega cada una de ellas. Se deberá nombrar una figura de “Project Manager” que informe al cliente del estado del desarrollo de la solución.
- Requisito G2: Calendario de Ejecución. Con el fin de poder realizar la apertura de los hoteles justo antes del comienzo de la campaña navideña, se pretende que la solución esté plenamente operativa en un tiempo inferior a 3 meses desde la decisión del proveedor ganador. Se solicita por tanto al proveedor de la solución un calendario de ejecución detallando cada uno de los hitos de que consta el proyecto con el fin de garantizar que en 3 meses estaría la solución comercialmente operativa.
- Requisito G3: Continuidad: La solución propuesta debe garantizar la continuidad del proyecto por al menos 5 años. Se deben considerar mejoras que puedan aplicar al servicio derivadas de la evolución de la tecnología.
- Requisito G4: Homogeneidad: La solución prestada para la red de hoteles deberá ser lo más homogénea posible y también homogénea con la red de barcos.
- Requisito G5: Servicio atención de Incidencias: Durante la prestación del servicio será necesario contar con un punto único de atención de incidencias tanto las derivadas de la red de hoteles como las derivadas de la red de barcos. Se solicita conocer la matriz de escalación ante incidencias. Se deberán indicar los tiempos de respuesta comprometidos, así como la capacidad efectiva de resolución de incidencias.

#### **8.3.2 Requisitos de ámbito técnico**

- Requisito T1: Compatible Multi-operador: La solución debe ser compatible con los 3 principales operadores de servicios móviles que operan en España, esto es, Movistar, Vodafone y Orange. Además deberá ser escalable en el caso de que se desee añadir algún nuevo operador adicional (Yoigo).
- Requisito T2: Información Bandas de Frecuencia usadas: La solución deberá ser compatible con las bandas de frecuencia LTE licenciadas en España. Se deberán indicar las bandas de

frecuencia compatibles con el fin de poder ser especificado a los clientes turistas, en el caso de que sus dispositivos no soporten alguna banda.

- Requisito T3: Arquitectura propuesta y Equipamiento. El proveedor de la solución deberá detallar la arquitectura propuesta a través de un diagrama que especifique claramente todos los componentes de la solución extremo a extremo. Además, de cada componente, se deberá indicar una breve descripción de su funcionalidad y prestaciones más relevantes. Se adjuntarán las especificaciones técnicas de los elementos más relevantes involucrados en la solución.
- Requisito T4: prestaciones del Servicio. El Servicio deberá soportar las prestaciones que se indican en la siguiente Tabla:

Número de usuarios Totales (6x Hoteles + 4x Ferrys)	500 en cada hotel/ferry → Total 5000 usuarios.
% usuarios Servicio 4G-LTE	40% → 2000 usuarios
Velocidad Servicio LTE de datos alcanzable por usuario en situación nominal	Se debe garantizar en 4G-LTE velocidades de al menos 40Mbps/5Mbps
Velocidad Servicio LTE máxima alcanzable	Se debe permitir alcanzar tasas máximas de hasta 100Mbps/10Mbps
Servicio Wifi Complementario	SI – Best Effort
Plataforma de Contenidos de entretenimiento Multimedia desde Servidor de Contenidos Local	SI
Servicio de Voz entre miembros del Staff VoLTE de forma Local	SI
Servicio de TV Digital Satélite	SI

*Tabla 8.1 Requisitos Prestaciones del Servicio*

- Requisito T5: Dimensionado de Capacidad Ancho de Banda: Se indicará la capacidad necesaria en Mbps para prestar los servicios solicitados.
- Requisito T6: QoS: El servicio deberá priorizar la capacidad disponible para los servicios telemáticos y usuarios del Staff respecto el perfil de usuarios turistas. El perfil de turistas y el perfil de staff deberán estar separados con el fin de no interferir en las comunicaciones.
- Requisito T7: Jitter y Delay: Se deberán especificar el valor de los parámetros de Jitter y delay, y como contrarrestar sus efectos adversos en caso de ser elevados. El delay y el Jitter de la solución propuesta deben asegurar que las comunicaciones de voz y video realizadas por los usuarios se pueden llevar a cabo con la máxima calidad.
- Requisito T8: Flexibilidad en la asignación de capacidad y nodos: En los Meses que van de Mayo a Octubre la ocupación de turistas es del 100% En cambio, en los meses que van de

Noviembre a Abril la ocupación media desciende al 50%. La solución propuesta debe ser capaz de ajustarse a estas características de estacionalidad permitiendo peticiones de crecimiento de BW o decrecimiento en función de las temporadas de ocupación.

- Requisito T9: Alimentación eléctrica: Se deberá indicar por parte del proveedor los requerimientos de alimentación eléctrica necesarios para dotar a la solución del suministro eléctrico necesario. En el lugar de ubicación de los hoteles la alimentación eléctrica es discontinua y se utilizan generadores de gasolina por lo que será necesario saber si la solución precisaría re-dimensionar el sistema de alimentación disponible.
- Requisito T10: Instalación El proveedor de la solución deberá especificar los detalles asociados al proceso de Instalación de la misma.
- Requisito T11: Despliegue: El proveedor de la solución deberá especificar los detalles asociados al proceso de despliegue de la solución.
- Requisito T12: Cobertura Small Cells: Se deberá indicar la cobertura de la solución La cobertura mínima necesaria debe cubrir todo el recinto del hotel el cual es de un diámetro aproximado de 500m. La solución propuesta deberá cubrir la disponibilidad del servicio 4G-LTE tanto en los hoteles como también en los ferrys.
- Requisito T13: Cobertura Backhaul: Se deberá indicar la Cobertura de la tecnología usada de backhaul con el fin de determinar la facilidad de desplazar los nodos remotos o de ubicar nuevos nodos remotos en localizaciones diferentes a las especificadas en la propuesta inicial.
- Requisito T14: Gestión del Servicio. Monitorización y Control. Se deberán indicar las herramientas de monitorización y control del servicio con las que cuenta el departamento técnico de la cadena hotelera para el control de la calidad prestada por el servicio.
- Requisito T15: Mantenimiento. Se deberá indicar el mantenimiento que necesita la instalación para mantenerla en óptimas condiciones de funcionamiento.
- Requisito T16: Sincronización. Se deberá especificar por parte del proveedor las necesidades de sincronización.
- Requisito T17: Licenciamiento: Se deberá especificar las licencias necesarias para operar de acuerdo a las leyes regulatorias, con el fin también de evitar problemas de interferencias.
- Requisito T18: Disponibilidad del Servicio: La disponibilidad del servicio requerida debe ser >99.95% anual, lo que se traduce en una indisponibilidad máxima permitida de 43,8horas/año. Este requerimiento es especialmente importante ya que los procesos telemáticos (p.ej cobro con tarjeta de crédito, gestión de reservas, etc) no pueden verse afectados por elevados periodos de indisponibilidad. Además también muchos de los visitantes que pasarán por el hotel serán perfiles de negocios y se pretende dar la máxima disponibilidad para que puedan realizar sus operaciones sin verse afectados por períodos importantes de indisponibilidad.

- Requisito T19: Seguridad: Se deberán detallar todos los mecanismos de seguridad con los que cuenta la solución con el fin de proteger las comunicaciones tanto de los turistas como de las gestiones telemáticas del hotel. Una solución que no disponga de mecanismos efectivos de seguridad será rechazada.
- Requisito T20: Especificaciones: Se deberán anexar las especificaciones de los elementos más relevantes usados en la solución.

### **8.3.3 Requisitos de ámbito económico**

- Requisito E1: Costes CAPEX: El proveedor de la solución deberá especificar el detalle de todos los elementos que contribuyen a los costes CAPEX de manera desglosada.
- Requisito E2: Costes OPEX: El proveedor de la solución deberá especificar el detalle de todos los elementos que contribuyen a los costes OPEX de manera desglosada.
- Requisito E3: Costes Totales y TCO (Total Cost of Ownership) y Análisis de Riesgo por cancelación de la solución. El proveedor de la solución deberá especificar el detalle de los costes totales asociados a la solución completa.
- Requisito E4: Flexibilidad en ajuste por estacionalidad de reservas. Debido a la estacionalidad de las reservas tanto en hoteles como en los ferrys, la solución propuesta por el proveedor debe poder se ajustada a las circunstancias de estacionalidad.
- Requisito E5: Business Plan: Detalle del coste que se debería incrementar a cada turista al día para poder proporcionar la solución. Se valorarán las propuestas que incluyan una estimación del posible business plan que haga la solución rentable

### **8.3.4 Requisito plan de pruebas**

- Requisito P1: Definición de un Plan de Pruebas. El Proveedor de la solución deberá incluir en la propuesta un plan de pruebas que demuestre que la solución funciona de acuerdo a las prestaciones especificadas.

## **8.4 Análisis y respuesta a los requisitos**

### **8.4.1 Justificación de decisión**

Entre las decisiones más importantes que tiene que tomar el Proveedor de Servicios está la decisión de la tecnología de Backhaul a implementar ya que es el apartado de toda la solución de la red celular 4G-LTE que impacta más directamente en aspectos clave tales como: Prestaciones, Cobertura, Flexibilidad, Riesgo, Viabilidad, Costes, etc.



En este caso, el Proveedor de Servicios se decide por implementar un esquema de backhaul basado en tecnología satélite.

A continuación se describen algunas de las principales fortalezas que presentaría la solución basada en backhaul satélite y que la posicionarían como la solución más adecuada para la prestación del segmento de backhaul.

- Cobertura marítima para prestación del servicio en los Ferrys: La solución satélite es, hoy en día, la única tecnología capaz de proporcionar cobertura en entornos marítimos, por tanto, este es uno de los puntos que diferenciaría a la solución satélite respecto cualquier otro competidor que base su solución en otra tecnología.
- Rápido despliegue: La solución de small cell basada en backhaul satélite es probablemente la solución de más rápido despliegue posible, ya que su despliegue es inmediato porque solo se requiere de instalación de infraestructura remota en el propio recinto del hotel lo cual es un importante punto a favor ya que la RFQ indica que la solución debe estar implementada en menos de 3 meses.
- Capacidad y Prestaciones: La solución satélite dispone de potentes mecanismos de eficiencia y gestión de la capacidad y ancho de banda disponible, que hacen que se presente como una solución perfectamente competitiva en términos de prestaciones y coste. Algunos de los mecanismos competitivos que se implementan son: Asignación TDMA que permite redistribuir el ancho de banda disponible entre todos los nodos, multiplexación estadística, definición de políticas QoS, definición de políticas FUP, definición de asignaciones MIR/CIR, etc.
- Flexibilidad de reconfiguración: La solución satélite permite la reconfiguración de las capacidades de forma muy sencilla e inmediata. En pocas horas la solución puede reconfigurarse y modificarse la redistribución de los anchos de banda signados a cada una de las ubicaciones según la demanda de necesidades. Además puede ser incluso realizado de forma autónoma por el propio cliente desde una interface basada en modelo VNO (Virtual Network Operator)
- Riesgo bajo. Porque el gasto principal asociado a la solución es fundamentalmente OPEX, lo que significa que en caso de que la solución se tenga que cancelar por cualquier motivo, la inversión realizada en equipamiento es mínima además de ser recuperable.

Otras posibles tecnologías de backhaul son descartadas por el Proveedor de servicio por los siguientes motivos:

- Tecnologías cableadas (ADSL, Fibra): En las localizaciones donde se ubican los hoteles no llega ni la fibra ni el par de cobre, por lo que para alcanzar los hoteles sería necesario realizar un proceso de acometida desde algún nodo situado a varios kilómetros. Dado que esto tiene un coste muy elevado, implicaría un proceso largo, requeriría incluso de expropiación de terrenos, etc, queda completamente descartada esta opción.

- Tecnología inalámbrica basada en radioenlaces RF: Sería una posible opción para los hoteles, pero sería inviable en el caso de los ferrys. Dado que el cliente requiere de una solución homogénea también quedaría descartada. Además la opción de radioenlaces RF puede requerir la colocación de varias torretas para llegar al destino a través de varios saltos lo cual puede encarecer la solución y dificulta su viabilidad ya que se necesitan permisos para la colocación de las torretas intermedias, así como un pago asociado por el alquiler de las mismas.

#### 8.4.2 Respuesta a requisitos de ámbito general

- Respuesta Requisito G1: Detalle de Participantes.

La propuesta contará con los siguientes participantes:

- Cliente: El cliente, en este caso, como se ha indicado, sería la unidad de negocio de la empresa hotelera que a través de su departamento Comercial y de Ingeniería de Preventa lanzarían una RFQ a los participantes candidatos en espera de recibir una propuesta para proporcionar una solución de Servicios 4G a implementar en los hoteles y ferrys.
- Proveedor de Servicio: Sería la empresa encargada de liderar y presentar la oferta al Cliente a través de dar respuesta a la RFQ que se plantea. El proveedor del Servicio será quien lidere la solución completa, para ello se apoyará en otras empresas a las que subcontratará servicios y equipamiento para poder desarrollar la solución. Además el Proveedor del Servicio pondrá a disposición del cliente, es decir, del equipo técnico de la cadena hotelera un perfil de “Project manager” que dirigirá todo el proyecto y servirá de interfaz de comunicación con el cliente para seguimiento del proyecto. Las empresas con las que contará el Proveedor de servicio para el despliegue de la solución completa serán las siguientes:
  - Operador de la infraestructura y enlace de Backhaul – Operador de Satélite: Se corresponde con la empresa que cuenta con la infraestructura completa de backhaul que en este caso como se ha decidido hacerlo a través de tecnología satélite será un Operador de satélites. La infraestructura satélite se compondrá tanto del segmento satélite, compuesto por el propio satélite a través del BW y capacidad espectral de los transpondedores que se utilicen, y también del segmento terrestre compuesto por la infraestructura en tierra que se compone de la plataforma de banda ancha con capacidad de procesar la capacidad espectral, transformarla en Mbps y ofrecer servicios IP, esta infraestructura en tierra también llamada HUB está encargada de interconectar los flujos de datos que llegan desde el satélite con las redes terrestres. El Operador de satélite también se encarga de realizar los planes de Transmisión de todos los servicios que operen en sus satélites así como controlar y evitar cualquier tipo de interferencias tanto entre portadoras operando sobre el satélite propio como en posibles portadoras externas de otros satélites adyacentes. En este caso, la

empresa seleccionada como operador de satélite y operador de plataforma de banda ancha satélite podría ser una empresa como Hispasat.

- Operadores móviles: Compuesto por los principales operadores móviles nacionales que se encargarán de interconectar las estaciones base (small cells) que se ubiquen en los hoteles/ferrys con su infraestructura propia de servicios móviles (core network). En este caso, los operadores móviles seleccionados sería Movistar, Vodafone y Orange.
  - Integrador: Empresa encargada de la integración de toda la solución a nivel físico, es decir de la operativa correspondiente al despliegue, instalación, mantenimiento, pruebas, logística, etc.
  - Fabricantes y Proveedores de Componentes: Todos los componentes necesarios serán solicitados directamente a los fabricantes o proveedores de componentes. Para la solución será necesario al menos contar con un proveedor de small cells, y con un proveedor de equipamiento satélite compatible con el HUB desplegado por el Operador de satélite. En este caso el proveedor de equipamiento satélite será Gilat y el proveedor de Small Cells 4G-LTE Lemko.
- 
- Respuesta Requisito G2: Calendario de Ejecución

La solución según requisito del cliente tiene una fecha de despliegue fijada para  $T_0 + 3$  meses, donde  $T_0$  es la fecha en la cual se toma la decisión de la propuesta ganadora ( $T_0 = 1/10/2015$ ). Para poder desarrollar el proyecto dentro de la fecha especificada por el cliente se definen los siguientes hitos:

DIAGRAMA DE GANTT

		Modo de	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predeces
1			<b>Inicio Proyecto</b>	<b>6 días</b>	<b>jue 01/10/15</b>	<b>jue 08/10/15</b>	
2			Decisión propuesta Ganadora	1 día	jue 01/10/15	jue 01/10/15	
3			Convocatoria DRM - Design Review Meeting consorcio ganador	5 días	vie 02/10/15	jue 08/10/15	2
4			<b>Preparativos</b>	<b>30 días</b>	<b>vie 09/10/15</b>	<b>jue 19/11/15</b>	
5			Pedido Equipamiento Necesario - Procurement	30 días	vie 09/10/15	jue 19/11/15	3
6			Solicitud Reserva de capacidad satelital y configuración servicio backhaul	15 días	vie 09/10/15	jue 29/10/15	3
7			Preparación Arquitectura de Red Operadores Moviles y servicio	15 días	vie 09/10/15	jue 29/10/15	3
8			<b>Instalación</b>	<b>5 días</b>	<b>vie 20/11/15</b>	<b>jue 26/11/15</b>	
9			Instalación equipamiento remoto	5 días	vie 20/11/15	jue 26/11/15	5
10			Interconexiones todos elementos y extremo a extremo	5 días	vie 20/11/15	jue 26/11/15	5
11			<b>Pruebas</b>	<b>10 días</b>	<b>vie 27/11/15</b>	<b>jue 10/12/15</b>	
12			Pruebas Parciales Segmento backhaul	5 días	vie 27/11/15	jue 03/12/15	10
13			Pruebas Parciales Segmentos Operador Movil	5 días	vie 27/11/15	jue 03/12/15	10
14			Prueba Solución completa Extremo a Extremo	5 días	vie 04/12/15	jue 10/12/15	13
15			<b>Solución Definitiva</b>	<b>6 días</b>	<b>vie 11/12/15</b>	<b>vie 18/12/15</b>	
16			Solución Definitiva en Pre-Producción	5 días	vie 11/12/15	jue 17/12/15	14
17			Solución definitiva en Producción Comercial Final	1 día	vie 18/12/15	vie 18/12/15	16

Figura 8.3. Calendario Proyecto

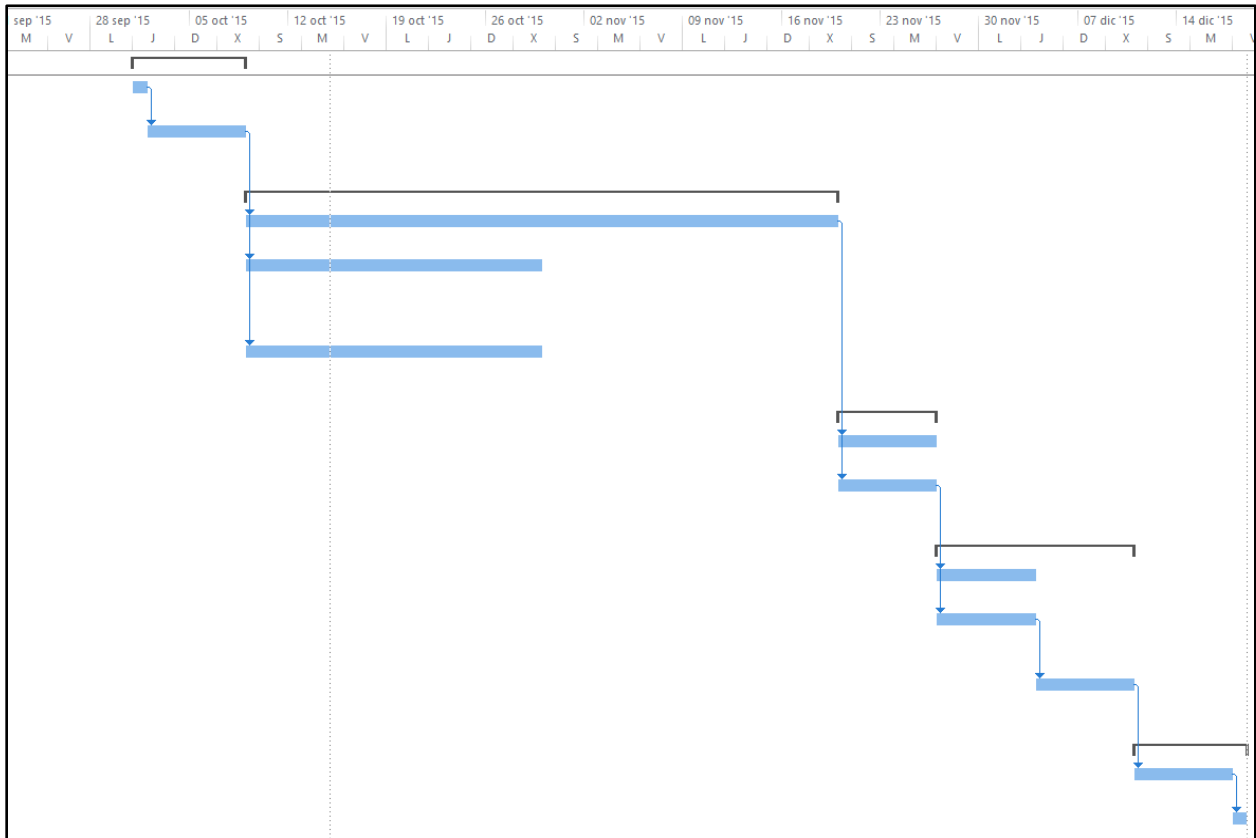


Figura 8.4. Diagrama Gantt Calendario Proyecto

▪ Respuesta Requisito G3: Continuidad:

La continuidad de la solución a largo plazo se garantiza a través de asegurarse que todos los proveedores que participen en la solución sean capaces de que sus servicios o productos tenga continuidad durante el plazo de 5 años que establece el requerimiento del cliente. En este caso las empresas participantes en la solución pueden asegurar esta continuidad:

- Proveedor Móvil (Vodafone, Movistar y Orange): Son empresas consolidadas del sector de las comunicaciones móviles por lo que su garantía de continuidad está asegurada.
- Proveedor Satélite (Hispasat): La continuidad del servicio prestado por un operador de satélite se mide por la capacidad de reemplazo del satélite que presta el servicio. En este caso, Hispasat, de acuerdo a su página web, informa que su actual satélite Hispasat 1E con cobertura en península e Islas Canarias será reemplazado en el año 2017 por un

nuevo satélite, Hispasat 1F, que asegurará la continuidad de los servicios del anterior satélite [22]. La vida útil del nuevo satélite lanzado será de más de 15 años.

- Gilat: Es el proveedor del equipamiento de backhaul e infraestructura satélite. Gilat es una empresa líder en la industria satélite como proveedor de equipamiento para soluciones de banda ancha por satélite con más de 25 años de existencia, por lo que su continuidad también está asegurada.

En cuanto a las mejoras esperadas por la solución de backhaul cabe esperar las siguientes:

- Mejoras en eficiencia del canal de backhaul: El nuevo satélite de Hispasat (1F) que reemplazará al satélite actual (1E) probablemente tenga mejores prestaciones en cuanto a PIRE de Satélite o incluso podría operar en la nueva banda de trabajo (banda Ka), estas mejoras se traducen en mejores ratios de eficiencia que a su vez repercutirán en el coste Mbps/€/mes, por lo que se podrían aplicar importantes reducciones de coste o bien aumento de más capacidad en el canal de backhaul tras su aplicación. Las prestaciones preliminares del nuevo satélite de Hispasat se encuentran en [23].
- Mejora del equipamiento de backhaul: el fabricante de equipamiento de satélite Gilat está constantemente evolucionando sus productos, la mejora del equipamiento puede añadir nuevas prestaciones a la solución tanto en rendimiento como en eficiencia, todas estas mejoras pueden ser aplicadas con el fin de conseguir una solución más competitiva. Entre las mejoras esperadas estarían: Integración de moduladores que soporten el estándar DVB-S2X (pueden suponer mejoras de eficiencia de hasta un 51%), soporte a mayores Symbol rates, mejora en las prestaciones del canal de retorno, etc.

■ Respuesta Requisito G4: Homogeneidad:

La solución que se propone desplegar se diseña para ser completamente homogénea en su arquitectura ya que el despliegue en cada uno de los 10 nodos remotos (6 hoteles +4 ferrys) comparte exactamente el mismo patrón de implementación y mismo equipamiento. Esto aporta numerosas ventajas a la solución ya que simplifica mucho la operativa de instalación, actualización, detección de fallos, troubleshooting, soporte, escalabilidad, etc.

■ Respuesta Requisito G5: Servicio atención de Incidencias:

Hoy en día, todas las empresas de servicios de telecomunicaciones cuentan con un departamento específico de atención a incidencias 24x7h con atención telefónica inmediata. Por tanto la solución propuesta contemplaría ese compromiso de atención de incidencias a través de un “call center” que será el punto inicial de la matriz de escalación. Los niveles de escalación propuestos son:

Nivel 0: Call Center. Se encargará de atender las llamadas de incidencias durante las 24h, recoger la descripción de la incidencia, registrar la incidencia para posterior trazabilidad, valorar si la incidencia atiende a responsabilidad del segmento satélite o del segmento celular o bien es un problema físico de equipamiento. Además este departamento debe ser capaz de valorar la escalación al siguiente nivel.

Nivel 1: Operadores de Nivel 1: Equipo especializado en resolución de incidencias básicas. Este equipo a través de procedimientos sencillos de troubleshooting debe ser capaz de resolver hasta el 90% de las incidencias que se presenten en el servicio. Si la incidencia es de complejidad tal que no pueden resolverla, será escalado a un Nivel superior.

Nivel 2: Ingenieros especializados. Se trata de un equipo especializado en resolución de incidencias complejas. Tienen un conocimiento profundo del sistema incluso a bajo nivel. Tiene además capacidad para contactar con los contactos de soporte de los fabricantes para intentar trazar el problema.

La capacidad efectiva de resolución de incidencias puede ser muy alta ya que todo el sistema está basado en IP (“full IP”) y por tanto todo el equipamiento será fácilmente accesible para revisión, comprobación y resolución de incidencias.

### **8.4.3 Respuesta a requisitos de ámbito técnico**

- Respuesta a Requisito T1: Compatible Multi-operador

La solución propuesta se diseña para ser compatible con los 3 principales operadores de ámbito nacional que según registros de la CNMC suponen el 93,2% del mercado de usuarios de red celular, esto es Movistar, Vodafone y Orange. Se acordará con los Operadores la prestación del servicio en hoteles y ferrys de tecnología 4G. Los usuarios accederán a los servicios de los operadores del mismo modo que lo hacen en cualquier otro lugar, es decir, manteniendo sus planes de servicios, plan de datos, plan de precios, etc. El Objetivo es que para el usuario final el servicio sea idéntico al recibido en otras partes. Para la compatibilidad Multioperador se puede diseñar un esquema básico de 3 Small Cells de la siguiente forma:

- 1x Small Cell Lemko (Movistar 4G)
- 1x Small Cell Lemko (Vodafone 4G)
- 1x Small Cell Lemko (Orange 4G)

- Respuesta a Requisito T2: Información Bandas de Frecuencia usadas:

En una primera fase de diseño será suficiente con seleccionar una única banda de frecuencia por cada Operador, ya que seleccionar más bandas de frecuencias implicaría el despliegue de más small cells y por tanto incrementaría el coste de la solución.

De acuerdo a las bandas de frecuencia disponibles en España licenciadas para la tecnología LTE se tiene:

- Para tecnología LTE:

Frec (MHz)	Banda	Frecuencias de subida (MHz)	Frecuencias de Bajada	Ancho (MHz)	Uso	Operadores
800	20	832-862	791-821	2x75	4G	Movistar, Orange, Vodafone
1800	3	1710-1785	1805-1880	2x75	2G y 4G	Movistar, Orange, Vodafone
2600	7	2500-2570	2620-2690	2x70	4G	Movistar, Orange, Vodafone

*Tabla 8.2. Asignación de Bandas de Frecuencia LTE España*

Teniendo en cuenta la tabla 8.1, se podría tomar cualquiera de las 3 bandas para la prestación del servicio. En este caso como se muestra en la Tabla 8.2, se selecciona la banda de 1800MHz:

Operador	Tecnología	Banda	Bloque tamaño (MHz)	Subida (MHz)	Bajada (MHz)
Movistar	LTE	1800	2x20	1710-1730	1805-1825
Vodafone	LTE	1800	2x20	1730-1750	1825-1845
Orange	LTE	1800	2x20	1765-1785	1860-1880

*Tabla 8.3. Propuesta Selección Bandas de Frecuencia Caso de Estudio*

Cada operador dispondrá de bloques de ancho de banda independientes respecto los bloques de otro operador dentro de la Banda seleccionada, por tanto, en total, como se muestra en la Tabla 8.2, para dar cobertura LTE por los 3 operadores habría que desplegar hasta 3 small cells. Además como en la regulación española no existe una banda de frecuencias móviles que pueda ser compartida por todos los operadores, en el caso de quererse compartir recursos (bandas de frecuencia) debería ser a través del establecimiento de un acuerdo entre operadores. Si en el futuro se designa una banda común que puedan utilizar todos los operadores de forma simultánea se podría reaprovechar el uso de equipamiento así como de los recursos espectrales y que una sola Small Cell sea suficiente para los 3 operadores.



- Respuesta a Requisito T3: Arquitectura propuesta y Equipamiento

La siguiente figura muestra el esquema de la arquitectura de red propuesta para proporcionar servicios LTE en los escenarios de Hoteles y Ferrys:

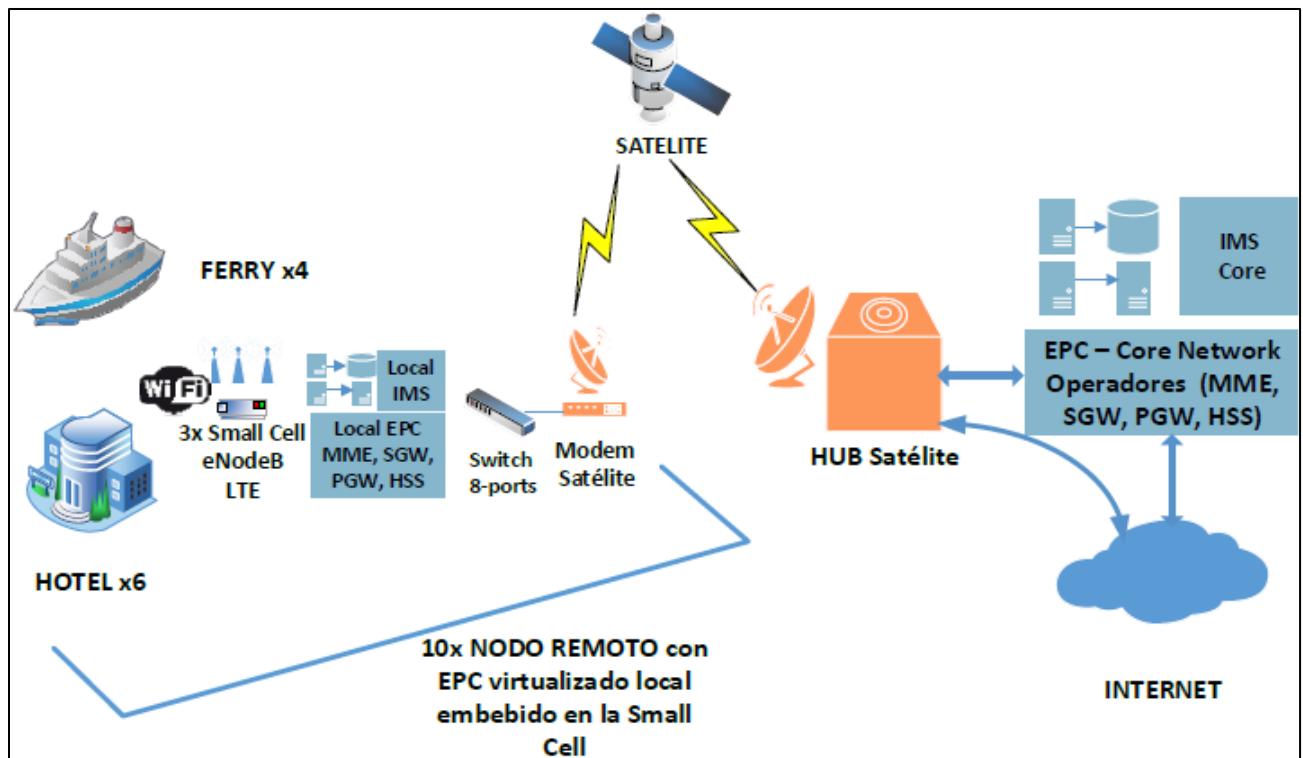


Figura 8.5. Esquema Arquitectura de Red Solución Propuesta

En la solución Extremo a Extremo de la Figura 8.5 se puede identificar por un lado el Extremo REMOTO y por otro lado el extremo CORE:

- Extremo REMOTO:
  - Cada nodo remoto ubicado bien en un hotel o en un ferry contará con los siguientes elementos:
    - 3x Small Cell 4G-LTE:
      - Small Cell LTE – “Lemko EZ” del proveedor Lemko Las Small Cells tendrán un core EPC local e IMS local virtualizado y embebido en la propia Small Cell. En total se contará con 3 Small Cells, una correspondiente a

cada Operador (Orange, Movistar y Vodafone). Las especificaciones de la Small Cell de Lemko están en el Anexo 1.

- 3x Punto de Acceso Wifi – Cisco Aironet 1530. Encargado de proporcionar el servicio Wifi.
- 1x Switch Cisco SG200-08P – 8 puertos. Para interconexión de las 3 Small Cells y los 3 puntos de Acceso Wifi con el Modem Satélite.
- 1x Equipamiento remoto backhaul satélite, compuesto por:
  - Modem Gilat Capricorn (ver especificaciones en Anexo 1)
  - LNB Gilat
  - Buc 4W Gilat
  - Antena GD Satcom 1.2m
  - Antena OceanTRx 4-500 – 1.15m (ver especificaciones en Anexo 1)
- Extremo CORE:
  - 1x HUB Central backhaul satélite
    - HUB Gilat SkyEdge II-C (ver especificaciones en Anexo 1). El HUB será el encargado de recibir el tráfico proveniente de cada una de las 10 ubicaciones remotas (6 Hoteles y 4 Ferrys) y conectar el tráfico de los usuarios bien con el Core EPC o bien directamente con las redes terrestres (Internet, RTBC, IMS, etc)
  - 3x EPC Core Network:
    - El HUB satélite conectará con cada uno de los EPCs Core Network de cada uno de los 3 operadores: Movistar, Vodafone, Orange.
- Respuesta a Requisito T4: Prestaciones del Servicio:

La solución prestará los siguientes servicios:

- Servicio LTE Voz y Datos  
Será el servicio principal, los usuarios accederán a los contenidos de Internet a través del enlace de backhaul satélite. La solución se dimensionará de acuerdo al apartado de Requisitos T5 para disponer de prestaciones que en condiciones nominales permitan a los usuarios alcanzar tasas de 40Mbps/5Mbps y en condiciones favorables poder llegar a alcanzar tasas máximas de hasta 100/10Mbps
- Servicio Wifi Complementario:  
Adicionalmente al servicio LTE, en cada ubicación se contará con hasta 3 puntos de acceso wifi que operarán en modo Best Effort, es decir, que su capacidad disponible

estará en función de la capacidad sobrante que deje el servicio 4G y por el cual los usuarios podrán hacer uso de servicios Wifi. El equipo seleccionado para la red Wifi será un equipo Cisco Aironet 1530 de tamaño compacto, bajo consumo (25W), adaptado para ser montado en exteriores y con banda de trabajo de 2.4GHz que presenta mejor alcance y cobertura en interiores respecto la banda 5GHz.

- **Servicio Entretenimiento Multimedia:**  
Los usuarios podrán hacer uso de servicios de contenidos de entretenimiento multimedia directamente desde sus dispositivos móviles accediendo a un servidor local de aplicaciones y contenidos multimedia (Series, películas, música, aplicaciones, etc) a través del EPC e IMS locales, todo ello directamente de forma local sin necesidad de salir por la conexión de backhaul. Además del propio departamento técnico del hotel podrá gestionar el contenido multimedia disponible así como aprovechar los horarios nocturnos donde el tráfico de usuarios es mínimo para subir nuevos contenidos multimedia al servidor de contenidos.
- **Servicio de Voz miembros Staff:**  
Como en el caso anterior, el hecho de contar con un EPC local permitirá desplegar una red local celular para que el staff pueda comunicarse vía VoLTE a través de teléfonos móviles, lo cual mejorará el sistema de interfonos tradicional.
- **Servicio TV Digital Satélite:**  
Se reaprovechará la antena satélite instalada para el servicio de backhaul de datos LTE para recibir también contenidos de TV digital satélite que se transmitan por el satélite Hispasat. A través de un splitter RF en el cable coaxial de recepción de la antena de backhaul se extraerá también la conexión necesaria de TV digital para distribuir los contenidos de TV en el recinto de los hoteles/ferrys.

▪ **Respuesta Requisito T5: Dimensionado de capacidad Ancho de Banda.**

La capacidad esperada para el servicio final a usuarios 4G estará directamente relacionada con la capacidad asignada al enlace de backhaul. Como primera aproximación de dimensionado para el enlace de backhaul a nivel satélite se tendrá la asignación de los siguientes transpondedores:

- 2 transpondedores completo de 36Mhz (TPD1 + TPD2) para el servicio de bajada-forward:
  - TPD1 (36MHz): Servicio 4G Outbound
  - TPD2 (36MHz): Servicio 4G Outbound
- 1 transpondedor de 36Mhz (TPD3) para el servicio de subida-retorno.
  - TPD3 (36MHz): Servicio 4G Inbound

A partir del ancho de banda asignado en MHz es posible calcular la capacidad en Mbps disponible, para ello se toman como referencia los datos de eficiencia de las hojas de especificaciones del fabricante de la tecnología satélite, en este caso de Gilat y su plataforma SkyEdge II-C, por tanto se tiene:

Capacidad Satélite Backhaul	FW	RTN
BW Transponedor(KHz):	72000	36000
Factor Roll Off	1,2	1,2
Symbol Rate (ksps)	30000	Portadoras de 4000ksps
Modulación (ACM - Best Modcod)	32APSK	8PSK
FEC	5/6	6/7
Eficiencia (specs. Gilat SEII - C)	3,359	1,946
BW (Mbps)	241.848	70,056

*Tabla 8.4. Cálculo Capacidades Backhaul Satélite FW y RTN*

Una vez que se dispone del BW disponible satélite en Mbps del enlace de backhaul tanto para la bajada como para la subida se puede determinar la repartición de la capacidad entre cada uno de los 3 operadores, entre cada uno de los usuarios finales y por último entre cada una de las 10 ubicaciones, tal y como se muestra en la siguiente tabla:

Dimensionado	OUTBOUND	INBOUND
Servicio Asignado	4G	4G
Transponedor FW	TPD 1 + TDP 2	TPD 3
BW Transponedor (Mbps)	241.848	70,056
Nº de Hoteles/ferrys	10	10
Usuarios por Hotel/Ferry	500	500
Total usuarios	5000	5000
% Usuarios servicio (4G)	40%	40%
Total usuarios servicio (4G)	2000	2000
Total Operadores	3	3
Total BW CIR por operador (Mbps)	80,6	23,3
Total Usuarios por operador	667	667
Total BW CIR por usuarios 4G (kbps)	120	35
Total BW CIR por ubicación (Mbps)	24,2	7.1

*Tabla 8.5. Propuesta de Dimensionado Inicial.*

La información importante que se extrae de la tabla anterior indica lo siguiente:

- Cada Operador (Movistar, Vodafone, Orange) va a disponer de una tasa de BW Garantizado de (80,6/23,3) Mbps para la prestación del Servicio de 4G. Esas capacidad podrán sin embargo, crecer de forma no garantizada en caso de que alguno de los operadores no use su capacidad dedicada asignada hasta un máximo de (241.848/70,056) Mbps. Es decir, todos los operadores cuentan con una determinada capacidad garantizada dedicada, pero si está capacidad dedicada no es usada total o parcialmente por el Operador, el sistema es capaz de transferirla a otro operador que la esté demandando de forma que pueda crecer, en un mejor caso, hasta la capacidad máxima del sistema. Esta transferencia de capacidad gracias a la tecnología TDMA/TDM y la asignación DAMA del Sistema Gilat se realiza de forma dinámica y automática por el sistema con el fin de evitar que haya ancho de banda disponible libre no asignado a usuarios que lo estén demandando.
- Cada ubicación (de las 10 ubicaciones a cubrir, 6 hoteles y 4 ferrys) va a disponer de una tasa de BW Garantizado de (24,2/7,1) Mbps para el Servicio 4G. Esas capacidades podrán sin embargo, crecer de forma no garantizada en caso de que alguna de las ubicaciones no use su capacidad dedicada asignada hasta un máximo de (241.848/70,056) Mbps. Es decir todas las ubicaciones cuentan con una determinada capacidad garantizada, pero si esa capacidad dedicada no es usada total o parcialmente por la ubicación, el sistema es capaz de transferirla a otra ubicación que la esté demandando de forma que pueda crecer, en un mejor caso, hasta la máxima capacidad del sistema. Como en la situación anterior esta transferencia de capacidad se realiza de forma dinámica y automática por el sistema a través de TDM/TDMA - DAMA con el fin de evitar que haya ancho de banda disponible libre no asignado.
- Cada usuario del Servicio 4G va a disponer de una tasa de BW garantizado (CIR por usuario) de (120/35) kbps. Estas capacidades sin embargo podrán crecer de forma no garantizada a valores superiores a través de la reasignación dinámica de recursos y tal y como se explica en el siguiente párrafo:

En el Proceso de asignación de capacidad a los usuarios se combinan 4 conceptos que son fundamentales a la hora de determinar las asignaciones finales reales de BW que pueden recibir los usuarios del sistema, y en definitiva a la hora de determinar la experiencia real de los usuarios. Los cuatro conceptos son los siguientes:

- Asignación dinámica de Ancho de banda: basada en mecanismos DAMA – TDM/TDMA.
- Multiplexación estadística y tráfico a ráfagas.
- Limitaciones de uso del servicio a través de Cuotas.
- Limitaciones de protocolos P2P y streaming.
- Enhancements: Compresión de contenido, supresión de ACKs, etc.

En definitiva, todos los mecanismos anteriores contribuyen a gestionar de forma más eficiente el BW disponible en el segmento de backhaul satélite, y permiten al ingeniero de

red realizar un diseño teórico aproximado del BW final disponible por los usuarios basándose en patrones de uso, estadística y experiencias de redes similares.

No obstante los diseños basados en servicios de muchos usuarios, están sujetos a variables no controlables fácilmente por los ingenieros de diseño por lo que es habitual que los planteamiento de diseño teóricos iniciales deban ser reajustados con las telemetrías observadas una vez el servicio está puesto en producción y se observe el patrón real estadístico de consumo de los usuarios de la red. En este sentido como respuesta al cumplimiento del requisito T4, se establecen los valores de la Tabla 8.5 como parámetros iniciales de diseño aproximado pero se deja abierto a reajustar la capacidad con más o menos ancho de banda según se observe el patrón de comportamiento de los usuarios de la red.

- Respuesta a Requisito T6: QoS

El equipamiento utilizado para el segmento de Backhaul satélite soporta la generación de VLANs para separar grupos de usuarios, de forma que los usuarios pertenecientes al perfil de turistas y los pertenecientes al perfil de staff queden separados en VLANs diferentes, de esta forma no solo se evita la interferencia en los datos de un grupo respecto al otro sino que también se pueden aplicar reglas de priorización u otras políticas de manera diferenciada a cada uno de los grupos.

- Respuesta a Requisito T7: Jitter, Delay y Paquetes perdidos:

Tres de los parámetros clave que se utilizan para determinar la calidad de la voz sobre IP son el Jitter, el delay y los paquetes perdidos.

- Jitter: El Jitter vendrá determinado principalmente por el tramo de backhaul el cual según las especificaciones del fabricante Gilat está en valores aproximados de 10-20ms (valor que está dentro de los parámetros recomendados de calidad por organismos y empresas que soportan servicios de voz IP, por ejemplo Cisco recomienda valores de jitter inferiores a 30ms aunque menciona que hasta 100ms puede ser aceptable a través de ser corregidos mediante mecanismos de buffering). La solución propuesta en nuestro caso tendrá un Jitter muy estable ya que el tramo de backhaul conecta la small cell con el core network de forma casi directa y a través de un único salto de satélite, sin necesidad de pasar por routers intermedios de internet que son los que comúnmente introducen retardos por los diferentes caminos que tienen que tomar los paquetes hasta alcanzar el destino.
- Delay: El Delay vendrá determinado en su mayor parte por la contribución del segmento satélite en la solución seleccionada, la cual está basada en satélite GEO, y eso significa que tendrá aproximadamente uno 250-300ms. Según las recomendaciones de la ITU G.114, se recomienda que el delay no supere los 150ms. En este sentido, la solución propuesta rebasa en casi 2 veces las recomendaciones de la ITU, por tanto eso se traduce en un ligero impacto en la calidad de la comunicación de voz que se percibirá por los usuarios como un pequeño retardo que en todo caso no impedirá el normal establecimiento de las llamadas.

- Pérdida de paquetes: El balance de enlace satélite se diseñará para conseguir un valor de BER de al menos  $10^{-7}$ , con lo que la pérdida de paquetes sería despreciable por lo que este factor no afectaría de ninguna manera a la degradación de la calidad de las comunicaciones de voz.

▪ Respuesta a Requisito T8: Flexibilidad en la asignación de capacidad y nodos:

La solución que se propone permite que el propio cliente (es decir, el equipo técnico de la cadena de hoteles) sea capaz, de forma autónoma, desde un interface de acceso VNO (Virtual Network Operator) de acceder a la operativa básica de su red y controlar en cada momento el reparto de ancho de banda total disponible para la red de 6 terminales + 4 ferrys y redistribuir la capacidad disponible en cada uno de los nodos remotos en función de los criterios que se considere (estacionalidad, ocupación de turistas en cada ubicación, diferenciación de hoteles, etc)

Además de la redistribución flexible, también el cliente cuenta con la posibilidad de incrementar/decrementar el ancho de banda total disponible en la red, dicha operación se puede realizar de forma inmediata por el proveedor de servicios a través del operador del HUB satélite.

▪ Respuesta a Requisito T9: Alimentación eléctrica en el nodo remoto:

Los consumos eléctricos de cada uno de los dispositivos que se ubican en el nodo remoto son los indicados en la siguiente tabla:

Elemento	Consumo (W)	Unidades	Consumo Total (W)
Small Cell Lemko 4G	72	3	216
Punto Acceso Cisco Aironet 1530	24	1	24
Switch Cisco SG200-08P	32	1	32
Modem Satélite Capricorn	6	1	6
Transmisor Satélite BUC Pout = 4W	50	1	50
TOTAL			328

*Tabla 8.6. Consumo Eléctrico Dispositivos Nodo Remoto Small Cell*

A partir de la tabla anterior se puede determinar el coste que supone el consumo anterior:

- Total tiempo horas año =  $24\text{h/día} \times 365\text{días} = 8760\text{h}$
- Total consumo (año) = Potencia x tiempo =  $328\text{W} \times 8760\text{h} = 2873\text{kWh}$ .
- Total Coste (año) (considerando que el coste del kWh es de aproximadamente  $0,1\text{€} = 2873\text{kWh} \times 0,12\text{€/kWh} = 344\text{€/año}$

En definitiva el coste anual total del consumo eléctrico de los dispositivos remotos de backhaul y small cell es de aproximadamente unos 344€al año para cada una de las ubicaciones.

Tanto en los hoteles, como en los ferrys hay posibilidad de disponer de suministro eléctrico convencional, por tanto, en este caso no será necesario habilitar una instalación de paneles solares.

- Respuesta Requisito T10: Instalación de equipamiento en nodo remoto
  - Instalación Small Cell Lemko: La instalación de la Small Cell no requiere de alineamiento ya que la small cell integra una antena sectorial. El ajuste de potencias se puede hacer de forma remota variando la potencia desde los 250mW hasta los 2W según se desee mayor o menor cobertura. En definitiva, la instalación es sencilla, y puede ser realizada por personal técnico o de mantenimiento.
  - Instalación Equipamiento satélite de Backhaul: En el caso de la instalación del equipamiento satélite para realizar el proceso de backhaul encontramos diferencias dependiendo de si es la instalación es en el hotel o bien es en el ferry:
    - Instalación en Hotel: La instalación se realiza a través de una antena fija, se trata de una instalación estándar de VSAT la cual requiere los siguientes pasos:
      - Ensamblaje de todos los elementos RF (BUC Transmisor, OMT, LNB Receptor y Bocina) con la antena.
      - Apuntamiento al satélite a través de ajuste de los ángulos de elevación, azimut y polarización
      - Finalmente se realiza la operación de alineamiento consistente en ajustar la potencia adecuada de transmisión (PIRE de Tx) de acuerdo al Plan de Transmisión indicado por el Operador de satélite. Esta operación es muy importante ya que posiciona al BUC transmisor para trabajar en su punto de operación óptimo de operación lineal (punto de compresión a 1dB) y también porque en la operación de alineamiento se comprueba que la estación está bien ajustada tanto en transmisión co-polar como contra-polar y así evitar riesgo de interferencia sobre transpondedores en satélites adyacentes o contrapolares.
    - Instalación en Ferry: La instalación en el Ferry es si cabe más sencilla ya que la antena del Ferry es una antena de tracking automática que hace seguimiento del satélite durante el proceso de movimiento del barco, por tanto es suficiente con introducir manualmente los parámetros de apuntamiento en la unidad ACU (Antenna Control Unit) para que la antena automáticamente realice un proceso de búsqueda del satélite, para esta operación la ACU se ayuda de la portadora baliza o “beacon” del satélite, esta portadora es una portadora que se transmite desde el satélite a la tierra a una frecuencia y polarización fija y que permite a dispositivos automáticos de tracking mantener el apuntamiento correcto con el satélite en el apuntamiento y posterior movimiento del



barco. Luego una vez se realice el primer enganche con el satélite será también necesario hacer el ajuste de alineamiento como en el caso de la antena fija.

▪ Respuesta Requisito T11: Despliegue de equipamiento remoto:

La solución de small cell basada en backhaul satélite es una solución de despliegue inmediato porque solo se requiere de instalación de infraestructura remota en el propio recinto del hotel/ferry.

Incluso en el caso de la antena del Ferry la solución puede ser desplegada en un único día tal y como se indica en las propias especificaciones del fabricante [25]

Para facilitar el despliegue se usarán configuraciones totalmente homogéneas en todos los puntos remotos.

Todo ello contribuirá de forma positiva a que el despliegue de la solución sea realizado en un tiempo inferior a 3 meses tal y como se indica en el requerimiento de la RFQ.

▪ Respuesta Requisito T12: Cobertura Servicio LTE/Wifi

Las Coberturas tanto de la Small Cell como del Punto de Acceso Wifi cumplen sobradamente los requisitos del cliente de cubrir por completo todo el recinto del hotel y del ferry:

- Cobertura Small Cell: Según las especificaciones del fabricante Lemko, las small cell tienen una capacidad máxima de operación de 2W, lo que se traduce en un alcance aproximado de hasta 1km. En el caso de necesitar cubrir una distancia menor, la potencia de transmisión puede configurarse a un valor mínimo de 250mw.
- Cobertura Punto de Acceso Wifi: Según las especificaciones del fabricante el punto de acceso Wifi presenta un rango de operación de hasta 2kms en la frecuencia de 2.4GHz

▪ Respuesta Requisito T13: Cobertura Servicio Backhaul

Tanto las ubicaciones del hotel como las ubicaciones del barco están perfectamente cubiertas por el área de cobertura del satélite seleccionado, Hispasat 1D. Esto implica que en cualquier punto del área de cobertura del satélite se podrían desplegar nodos adicionales de forma inmediata y de esta manera escalar la solución fácilmente a otros hoteles/ferrys u otras ubicaciones que considere la cadena hotelera.

El Mapa de cobertura de la figura 8.8, muestra los valores de PIRE del satélite, es decir la potencia isotrópica radiada equivalente de transmisión del satélite que se recibe en cada una de las curvas de cobertura. A mayor PIRE las condiciones del balance de enlace serán más

favorables lo que permitirá bien el uso de antenas más pequeñas o bien contar con márgenes de disponibilidad frente a lluvia mayores.

En este proyecto el satélite seleccionado para la prestación del Servicio es el Hispasat 1D, cuya PIRE en las Islas Canarias donde se ubican los hoteles es de 52dbW, y en el mediterráneo en el trayecto de los ferrys está en el en torno a 54-52dbW.

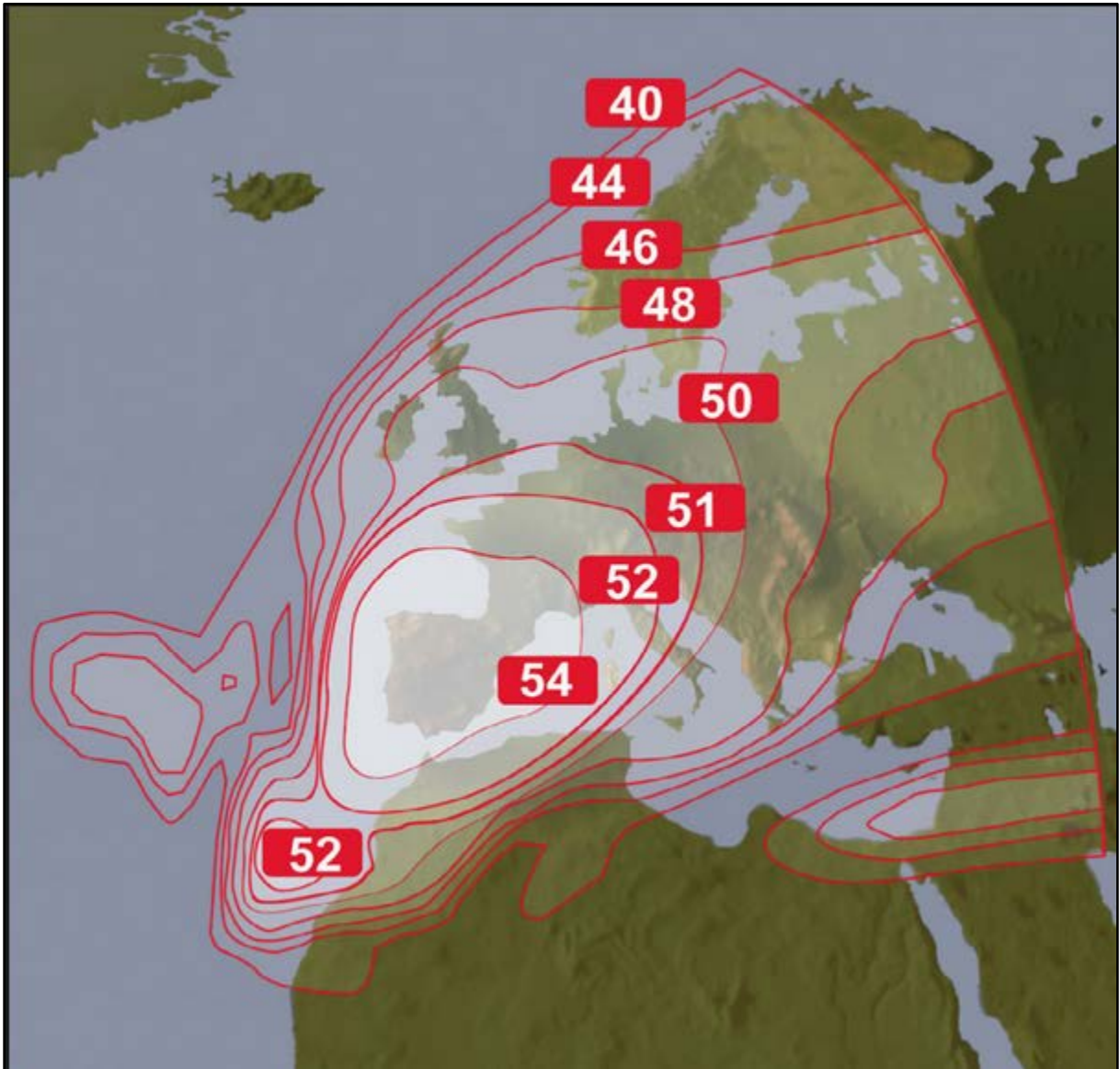


Figura 8.6. Cobertura - PIRE Satélite Hispasat 1D

Otros satélites candidatos que fueron analizados se detallan en la siguiente tabla:

Satélite / Posición Orbital / Banda de Operación	PIRE downlink coverage	Infraestructura Terrestre - conectividad	Comentarios
Hispasat 1D 30º Oeste Banda Ku	PIRE Canarias: 52dBW PIRE Trayecto Ferrys: 54 a 52dBW Fuente: <a href="http://www.hispasat.com/en/satellite-fleet/hispasat-1e">http://www.hispasat.com/en/satellite-fleet/hispasat-1e</a>	Telepuerto en Madrid con servicios de contratación de capacidad sobre plataformas Gilat/Idirect. Opción de servicio de Hosting  El Telepuerto tiene conectividad con los principales POPs ubicados en Madrid.	Se puede decir que es el satélite más indicado para la solución, ya que: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiene buena cobertura satélite en las localizaciones requeridas</li> <li>• Es el que mejor PIRE presenta</li> <li>• El HUB satélite se encuentra en España</li> </ul>
Eutelsat (varios) 16ºEast 7º East	PIRE máxima alcanzada por 16º East y 7ºEast--> 46dBW.	Telepuertos Propios en Francia, Italia  Telepuertos con Partners en África  Interconexión de los Telepuertos a través de fibra redundada con los principales Puntos de Presencia (POPs) en París, Frankfurt y Londres	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PIRE satélite en Islas Canarias tiene prestaciones muy inferiores a Satélite Hispasat 1D.</li> <li>• Hubs no están ubicados en España</li> </ul>
Arabsat – 5A 30,5º Este Banda Ku	PIRE Canarias: 50dBW PIRE Mediterráneo: 44dBW	Telepuertos con partners ubicados en diferentes puntos de la cobertura.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buenas prestaciones de PIRE y G/T para Canarias.</li> <li>• Prestaciones inferiores en Mediterráneo</li> <li>• Por otro lado es un satélite con clara orientación al mundo árabe.</li> </ul>

*Tabla 8.7. Comparación Satélites con Cobertura Islas Canarias*

▪ Respuesta Requisito T14: Gestión del Servicio. Monitorización y Control.

El proveedor de la solución puede poner a disposición del departamento técnico de la cadena hotelera una herramienta conocida como VNO (Virtual Network Operator), esta herramienta es un interface GUI con acceso a todos los parámetros básicos de monitorización y control de la red del cliente. A través de este interface, el cliente puede conocer la siguiente información relativa a su red, de forma remota y desde cualquier punto con conexión a internet:

- Registro de número de usuario conectados al servicio.
- Gráficas de tráfico consumido por cada grupo de clientes perteneciente a cada uno de los operadores móviles.
- Registro de disponibilidad del servicio.
- Redistribución de ancho de banda total disponible entre hoteles-ferrys.
- Logs de error y eventos de los servicios.

- Graficas de parámetros relativos a la calidad del enlace (EsNo, SNR, Packet Loss).
- Monitorización de congestión de los servicios.

En definitiva la interface VNO es una completa suite de herramientas a disposición del cliente que le permite control completo de todos los aspectos relevantes de la red con el fin de poder tomar decisiones importantes: resolución de problemas, decisión de contratación de más capacidad, decisión de redistribución de BW, etc.

▪ Respuesta Requisito T15: Mantenimiento de elementos en nodo remoto:

El mantenimiento se divide típicamente en mantenimiento preventivo o reactivo según vemos a continuación:

- Mantenimiento Preventivo: El equipamiento remoto una vez instalado correctamente no precisa de ningún mantenimiento preventivo. Todos los elementos seleccionados para la prestación del servicio son capaces, según especificaciones, de soportar condiciones de operación en exterior en lo que respecta a soporte frente a humedad/condensación y temperaturas extremas. En todo caso, con el fin de disponer de un mantenimiento preventivo se pueden configurar umbrales de operación en la herramienta VNO para determinados parámetros de seguridad en la operación de los equipos como Temperatura, CPU, Pout, Pin, etc de forma que si la evolución de alguno de esos parámetros se observa que no es la correcta se podría realizar una operación preventiva de mantenimiento sobre dicho equipamiento.
- Mantenimiento Reactivo: En caso de detectarse un fallo, se contará con un set completo de equipos de backup en frío (cold-backup) almacenado en cada una de las ubicaciones que permita restaurar el servicio en pocos minutos. Los equipos de backup en frío deberán estar configurados del mismo modo que sus homólogos instalados con el fin de realizar una instalación plug and play en caso de estropearse alguno de los equipos en operación.

Para el caso de la instalación en ferrys, al tener la antena satélite un coste muy elevado se podrá tener backup "in situ" de todos los elementos en el propio barco excepto de la antena. Para la antena marítima se tendrá únicamente una antena de backup almacenada en algún punto en tierra y que sería enviada al barco de forma inmediata en caso de detección de fallo en alguna de las antenas marítimas desplegadas, por lo que en ese caso la indisponibilidad que podría sufrir el servicio en este caso podría alargarse al menos 24h.

- Respuesta Requisito T16: Sincronización:

Para la operativa de las Small Cells se contará con una sincronización básica a través de protocolo GPS, en todo caso, las small cells no tendrán comunicación con ninguna Macrocela por lo que no son necesarios mecanismos de sincronización entre ellas para la coordinación de interferencia entre celdas adyacentes.

- Respuesta Requisito T17: Licenciamiento y Regulación

- Licenciamiento Small Cells: Las small cells serán controladas y operadas por cada uno de los operadores móviles por lo que operarán en las frecuencias licenciadas que cada uno de los operadores móviles tiene en España.
- Licenciamiento Punto de Acceso Wifi: El punto de acceso Wifi trabaja en la frecuencia 2.4GHz, la cual es una banda no licenciada y por tanto no requiere ningún permiso de administraciones para operar. Al no estar licenciada está sujeta a vulnerabilidad frente a posibles interferencias, por eso el servicio Wifi se presta en modo "best effort" sin ningún tipo de compromiso de calidad de servicio. Por otro lado se seguirán las normas de máxima potencia de transmisión que marca la recomendación CEPT/ERC 70-03 Anexo 3 para la banda de 2.4GHz fijado en 100mw.
- Licenciamiento Satélite: Se operará en las bandas de frecuencias licenciadas para satélite en el rango de frecuencias de Banda Ku. Tanto Europa como África comparten la región ITU 1 cuyas bandas de trabajo utilizadas son de (10,7 a 12,75)GHz con una banda de subida de (14 a 14,5)GHz
- Regulación Small Cells (Potencia): La potencia emitida por la Small Cell será controlada por los Operadores para cubrir el área de hoteles y ferrys y en todo caso no superar los umbrales de potencia indicados en [24]
- Regulación Small Cells (Ferrys): En el caso de los Ferrys las small cells a bordo serán activadas una vez el barco se aleje una determinada distancia de la costa (que por defecto será de unas 2 millas) con el fin de no interferir con las estaciones base existentes en tierra. Una vez en alta mar, la small cell funcionará en lo que se conoce como una isla de cobertura LTE.

- Respuesta Requisito T18: Disponibilidad del Servicio:

En la disponibilidad del servicio extremo a extremo contribuirán cada uno de los segmentos de que se compone la solución los cuales se muestran en la siguiente figura:

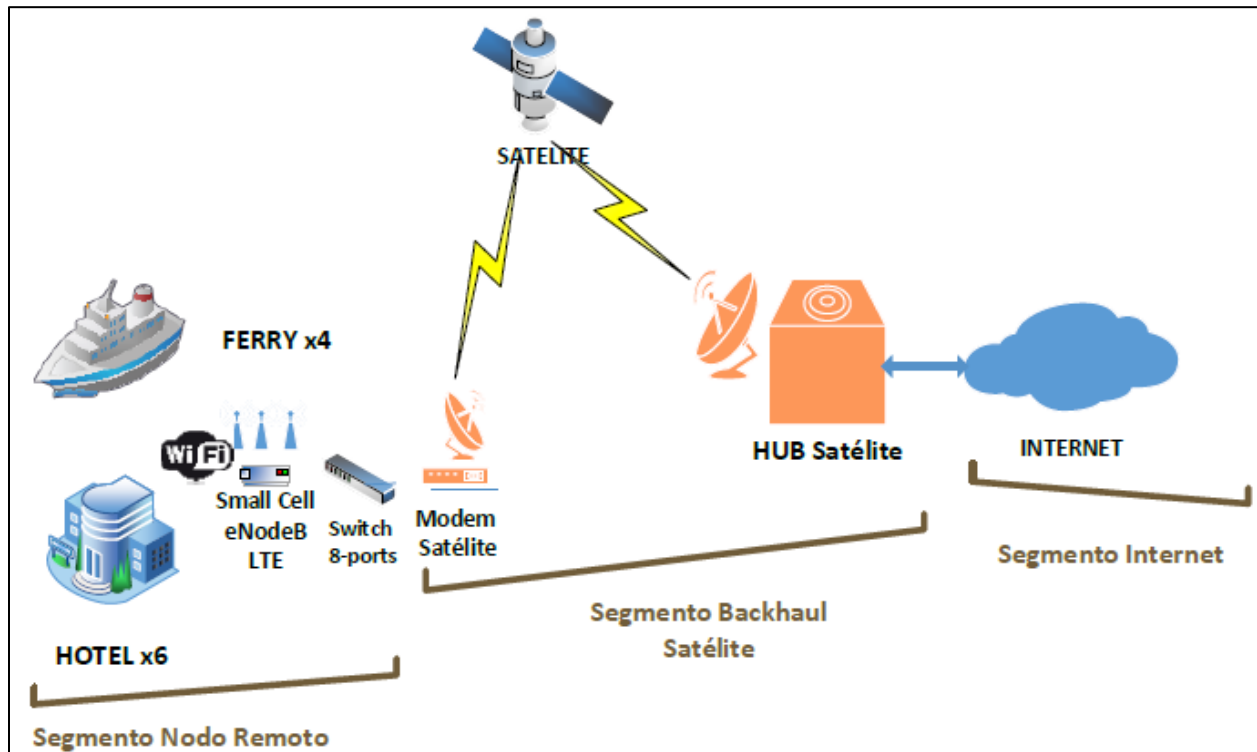


Figura 8.7. Disponibilidad del servicio extremo a extremo por segmentos

**Segmento Enlace Nodo Remoto:** Corresponde a la disponibilidad del enlace que conecta la small cell con los dispositivos de usuarios (Ue). En este caso, la ventaja de las small cells radica en que su alcance es muy reducido y por tanto es fácil realizar la planificación de la celda para que cubra todo el rango de acción deseado con la potencia deseada. Del mismo el control de interferencias con otras estaciones base es más fácilmente controlable.

**Segmento Backhaul Satélite:** El segmento satélite se puede considerar como la contribución más expuesta a indisponibilidad. La disponibilidad del enlace satélite es responsabilidad del operador de satélite y se fija mediante la realización de un balance de enlace. El balance de enlace determina la disponibilidad anual del servicio y depende de variables controladas estadísticamente como la lluvia y de otros parámetros ajustables como la calidad del transmisor y receptor empleados, el tamaño de la antena, la modulación y FECs elegidos. Por lo habitual para servicios críticos de voz y datos se suele fijar una disponibilidad del balance de enlace de 99.8%, lo cual significa que el enlace se interrumpe únicamente en casos de lluvia extrema. En lo que respecta a interferencias, el segmento satélite está expuesto a interferencias que puedan ser generadas en la mayoría de los

casos, por errores o instalaciones deficientes. Dichas interferencias son controladas por los equipos de PMC (Payload Monitoring Control) de los operadores satelitales.

Segmento Internet: El segmento internet es el único entorno no controlado de toda la conexión extremo a extremo. En todo caso, la red internet, a través del protocolo TCP está diseñada para que los paquetes sean capaces de alcanzar siempre un camino alternativo en el caso de algún problema con alguno de los nodos intermedios de enrutamiento de internet.

▪ Respuesta Requisito T19: Seguridad:

La seguridad es uno de los puntos de creciente sensibilidad por parte tanto de las compañías como de los usuarios. La seguridad también se define por tramos, por lo que tenemos:

- Seguridad en tramo de la red de acceso UE-Small Cell: En este tramo la seguridad de las comunicaciones corre a cargo de cada una de las Operadoras las cuales se basan en las especificaciones del estándar 3GPP. Básicamente interviene mecanismos de autenticación y cifrado entre el UE y el EPC (a través de las entidades: MME y AAA-Server/ HSS)
- Seguridad en tramo de la red de backhaul: Este tramo corresponde al tramo satélite y por tanto el garante de la seguridad en este tramo debe ser el operador satelital. Para garantizar la seguridad de este tramo el estándar 3GPP y el organismo SCF, recomiendan la utilización de un túnel IPSEC.
- Seguridad física: En cuanto a la seguridad física del equipamiento involucrado en la solución se tiene que , la Small Cell se ubicará en un lugar protegido e inaccesible para el personal no autorizado dentro del recinto del hotel/ferry. El resto del equipamiento, HUB estará en las dependencias del operador satélite y el Core Network LTE en las dependencias del Operador Móvil. Es decir, ningún equipamiento estaría expuesto a ser manipulado por personal no autorizado.

▪ Respuesta Requisito T20: Especificaciones:

En el Anexo 1 se describen las especificaciones más relevantes de los equipos utilizados.

#### 8.4.4 Respuesta a requisitos de ámbito económico

- Respuesta a Requisito E1: Costes CAPEX:

Los costes CAPEX de la solución se pueden encontrar en la siguiente tabla:

Para los hoteles se tiene:

Coste CAPEX HOTELES			
Elemento	Coste Unitario (€)	Uds.	Total (€)
Small Cell 4G - Lemko	6000	3	18000
Switch conexión Small Cells	250	1	250
AP Wifi – Cisco Aironet 1530	500	3	1500
Modem Satélite	1000	1	1000
Antena Fija +RF	500	1	500
Soportes Equipamiento	500	1	500
Instalación Completa	500	1	500
TOTAL (1 hotel)			22250
TOTAL CAPEX (6 hoteles)		6	<b>133500</b>

*Tabla 8.8. Costes CAPEX Hoteles*

En el caso de los Ferrys, el elevado coste de la antena de tracking incrementa considerablemente los costes CAPEX:

Coste CAPEX FERRYS			
Elemento	Coste Unitario (€)	Uds.	Total (€)
Small Cell 4G - Lemko	6000	3	18000
Switch conexión Small Cells	250	1	250
AP Wifi – Cisco Aironet 1530	500	3	1500
Modem Satélite	1000	1	1000
Antena Marítima +RF	60000	1	60000
Soportes Equipamiento	500	1	500
Instalación Completa	500	1	500
TOTAL (1 ferry)			81750
TOTAL CAPEX (4 ferrys)		4	<b>327000</b>

*Tabla 8.9 Costes CAPEX Ferrys*



- Respuesta a Requisito E2: Costes OPEX:

Los costes OPEX de la solución completa para los 10 nodos del conjunto (hoteles + ferrys) se describen en la tabla 8.12. Se debe tener en cuenta que tanto los hoteles como los ferrys comparten el BW por tanto el cálculo del OPEX Total se hará de forma común para toda la solución agregada:

Costes OPEX Capacidad Satélite Backhaul				
Concepto	Coste Unitario (€)	Mbps	Meses	Total (€)
Coste Mbps/mes	450	1	1	450
Coste Backhaul satélite (Mbps) - 6 meses Temporada Alta	450	311,904	6	842141
Coste Backhaul satélite (Uds. Mbps) - 6 meses Temporada Baja	450	155,952	6	421070
Coste OPEX Backhaul satélite Total Anual				1263211

*Tabla 8.10. Costes OPEX Capacidad Backhaul Satélite*

Costes OPEX Alquiler y Mantenimientos				
Concepto	Coste Unitario (€)	Ubicaciones	Meses	Total (€)
Coste Alquiler de Ubicación	0	10	12	0
Coste Alimentación Eléctrica	20	10	12	2400
Coste Mantenimiento	0	10	12	0
TOTAL OPEX				2400

*Tabla 8.11. Costes OPEX Alquiler y Mantenimientos Elementos Nodo Remoto*

Costes OPEX TOTALES ANUAL	
Costes OPEX Capacidad Satélite Backhaul	1263211,2
Costes OPEX Alquiler y mantenimientos	2400
Costes OPEX TOTALES	1265611,2

*Tabla 8.12. Costes OPEX Totales Anual*

Los costes OPEX por tanto ascienden a la cifra de 1.265.611€al año.

- Respuesta a Requisito E3: Costes Totales y TCO (Total Cost of Ownership) y Análisis de Riesgo por cancelación de la solución.

Los costes totales calculados para todo el proyecto a 5 años son:

Costes TOTALES CAPEX + OPEX - 5 AÑOS			
Concepto	Años	Unitarios	Totales
CAPEX Hoteles	1	133500	133500
CAPEX Ferrys	1	327000	327000
OPEX (5 años)	5	1265611,2	6328056
<b>TOTAL COSTES (5 años)</b>			<b>6788556</b>

*Tabla 8.13. Costes TOTALES (CAPEX + OPEX) 5 años*

Análisis de Riesgo: En el caso de que en algún momento antes de que finalice el contrato a 5 años el proyecto se tuviera que cancelar, se dejaría de pagar de forma instantánea el coste OPEX que es el coste mayor impacto en los costes totales. En ese sentido la única pérdida asumida en el proyecto sería la correspondiente al CAPEX aunque todo el equipamiento podría ser recomprado por el proveedor del servicio y de esta forma los riesgos asumidos se reducirían a prácticamente cero en caso de cancelación de la solución en cualquier momento del proyecto.

- Respuesta a Requisito E4: Ajuste de BW por estacionalidad de reservas:

La solución diseñada puede ajustar la asignación de BW servida a los usuarios de forma flexible según la estacionalidad de reservas de los hoteles/ferrys por lo que si el hotel o el ferry presentan un determinado tanto por ciento menos de pernoctaciones durante los meses de invierno-otoño, el BW puede ser ajustado de manera inmediata para reducir la capacidad Mbps y por tanto reducir los costes OPEX derivados del ajuste. El reajuste de BW se realiza en el segmento de backhaul y se aplica desde el HUB de la plataforma de Banda Ancha satélite.

- Respuesta a Requisito E5: Business Plan: Detalle del coste estimado que se debería incrementar el coste de la noche de hotel a cada turista para poder proporcionar la solución.

Para el cálculo del Business plan es necesario primero saber el número de clientes que se hospedan en cada uno de los hoteles/ferrys por año

Concepto	Operación	Pernoctaciones
Total Usuarios Pernoctando en un día en cada Hotel/Ferry	El número de usuarios que hacen noche en cada hotel/ferry es de 500	500
Total Usuarios Pernoctando en un día en todos los 10x Hotel/Ferry	10 hoteles/ferry x 500	5000
Pernoctaciones en 6 meses Temporada Alta (ocupación 100%)	500 usuarios x 30 días x 6 meses x 10 hoteles/ferrys	900.000
Pernoctaciones en 6 meses Temporada Baja (ocupación 50%)	250 usuarios x 30 días x 6 meses x 10 hoteles/ferrys	450.000
Pernoctaciones Totales (1año)	Suma 6meses temporada alta + 6 meses temporada baja	1.350.000

*Tabla 8.14. Cálculo de Pernoctaciones Totales Anuales*

Las pernoctaciones totales se relacionan con el coste total anual de la solución de forma que en la Tabla 8.15 se calcula el coste que se tendría que incrementar a cada usuario para hacer la solución rentable en cada año sucesivo.

	1er año	2º año	3er año	4º año	5º año
CAPEX Hoteles	133500	133500	133500	133500	133500
CAPEX Ferrys	327000	327000	327000	327000	327000
OPEX	1265611	2531222	3796834	5062445	6328056
CAPEX + OPEX	1726111	2991722	4257333	5522945	6788556
Pernoctaciones	1350000	2700000	4050000	5400000	6750000
Coste incremental por usuario pernocta (€)	1,28	1,11	1,05	1,02	1,00

*Tabla 8.15. Cálculo Coste por usuario despliegue solución completa*

Por tanto, como conclusión, la Cadena Hotelera para poder construir la solución 4G y compensar los costes OPEX + CAPEX debería incrementar el coste de cada pernoctación en los precios por Euro indicado en la tabla 8.15.

#### 8.4.5 Respuesta a requisitos de plan de pruebas

Para probar las prestaciones de la solución propuesta, y en caso necesario comparar con otras propuestas se propone la realización de un plan de pruebas que determine el rendimiento de la solución.

Un ejemplo de plan de pruebas sería el siguiente:

Prueba	Setting y Herramientas
Preparación del entorno de pruebas "extremo a extremo"	Se contará con: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Un teléfono móvil de pruebas (extremo inicial)</li> <li>• Un servidor de pruebas ubicado en el extremo final, es decir en el core network del operador móvil justo antes de salir a internet (ya que internet es un entorno no controlado)</li> <li>• Un servidor de pruebas que pueda ser ubicado en puntos parciales del recorrido para la realización de medidas parciales</li> <li>• Herramientas de medición de tiempo y velocidad de transferencia.</li> </ul>
Medición Velocidad descarga/subida sostenida en TCP en Mbps	Desde un teléfono móvil de prueba realizar una conexión FTP al servidor de pruebas ubicado justo en el extremo del operador móvil y antes de salir a internet y probar la descarga y subida de un fichero de 100Mbytes  #get fichero (para probar la descarga)  #put fichero (para probar la subida)  Se anotará el tiempo que tarda en realizar la descarga/subida y se hará la siguiente operación para calcular la velocidad en Mbps:  $\text{Velocidad (Mbps)} = (100\text{Mbytes} / t) \times 8$
Medición Velocidad descarga/subida en UDP en Mbps	Misma operación pero en vez de utilizar la herramienta FTP que está basada en TCP habría que usar otra herramienta como Iperf que mide el ancho de banda entre 2 dispositivos cliente-servidor donde el cliente es el teléfono móvil de pruebas y el servidor sería una máquina ubicada en el extremo del operador móvil. Los comandos para hacer la prueba de descarga en UDP durante 60segundos serían:  En el móvil: iperf -c IP_servidor -u -i 2 -t 60  En el servidor: iperf -s -i 2  Para la subida se intercambian los comandos y el móvil hace de servidor y el servidor de pruebas hace de cliente  La herramienta iperf muestra el ancho de banda sostenido en Mbps en UDP

Tabla 8.16. Parte 1. Plan de Pruebas

Prueba	Setting y Herramientas
Medición de reparto "Fair Sharing" con 2 teléfonos clientes	Se realizarán las mismas pruebas que en el caso anterior pero con 2 teléfonos haciendo uso de la capacidad de forma simultánea, si el sistema funciona bien se deberá observar que cada teléfono se reparte de forma equitativa el ancho de banda disponible.
Medición tiempo de descarga páginas web	Desde el teléfono móvil de pruebas realizar varias descargas web de diferentes páginas de pruebas ubicadas en el servidor web de pruebas en el extremo del operador:  Las páginas de pruebas deberán ser de diferentes tipos para ver los comportamientos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Página con muchos/pocos objetos</li> <li>• Página con elementos cacheables/no cacheables</li> <li>• Descargas web</li> <li>• Streaming de contenidos</li> </ul> Se deben anotar los tiempos de descarga.
Medición del "delay budget"	Realizar mediciones de ping desde puntos parciales de la red, para ello realizar un ping desde el teléfono móvil a cada uno de los siguientes puntos de la red <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ping a Modem satélite</li> <li>• Ping a Hub satélite</li> <li>• Ping a POP</li> <li>• Ping a Core network de operador</li> <li>• Ping a internet</li> </ul>
Medición del "jitter"	Realizar la medida del jitter tanto extremo a extremo como en puntos parciales de la red.
Prueba de VoIP	Realizar pruebas usando VoIP para ver calidad de la llamada
Prueba de Streaming	Probar aplicaciones de streaming para ver comportamiento: Youtube, Spotify, Netflix, etc.
Prueba de aplicaciones sensibles a retardo	Probar aplicaciones que son sensibles a retardo (ej https, compra online, etc) y observar si ocurren problemas (p.ej denegación de acceso a servicio por timeout)
Prueba de Seguridad	Comprobar correcto establecimiento de túnel IP-Sec entre modem Satélite y el Security-Gateway

Tabla 8.17. Parte 2. Plan de Pruebas

#### 8.4.6 Conclusiones:

En este capítulo se ha presentado un ejemplo teórico de diseño que ha permitido definir una solución de despliegue de una red de small cells para proporcionar servicios LTE a los usuarios de Hoteles y Ferrys y todo ello ha sido posible a través de la utilización de un canal de backhaul satélite. En el capítulo han quedado caracterizadas las principales ventajas de la solución de backhaul satélite como solución óptima para el despliegue de la solución celular buscada.



## 9 FUTURO Y EVOLUCION DE LA TECNOLOGIA

### 9.1 Introducción

Este capítulo trata de dar unas pinceladas de alto nivel, sin entrar en detalles técnicos pero sí introduciendo lo que el futuro tecnológico asociado a la conectividad celular nos deparará en los próximos años. El objetivo del capítulo es la de proporcionar una visión general de las líneas de investigación principales sobre las que se está trabajando en la industria de comunicaciones LTE, Small Cells y Satélite.

### 9.2 Evolución social

La revolución que está suponiendo en la sociedad la demanda de servicios de datos IP e Internet es el motor que está empujando a todas las compañías de la industria a tener que constantemente evolucionar las redes y esquemas actuales para poder soportar tal demanda.

Y no se trata solo de demanda de más y más velocidad, se pretende también satisfacer la experiencia de usuario, se trata de ofrecer la capacidad adecuada para conectar a las personas y a las cosas según la situación y circunstancias específicas.

Esta revolución además no se concentra solo en los países desarrollados, sino que está llegando también a países en vías de desarrollo y subdesarrollados. Los teléfonos móviles cada vez son más accesibles y la tecnología móvil se está convirtiendo en motor de evolución social mundial. La disponibilidad de Internet se empieza a ver como un derecho social. En la actualidad existe más de dos terceras partes de la población mundial que no cuentan con acceso a Internet, las razones que se esgrimen son:

- Los dispositivos son demasiado caros.
- Los planes de servicios son demasiado caros.
- Las redes móviles son escasas y están alejadas.
- La gente no está segura del valor que les aportará internet.
- El suministro eléctrico es limitado o costoso.
- Las redes no pueden admitir grandes cantidades de datos.
- El contenido no está disponible en el idioma local.

Gobiernos y administraciones de estos países tratan de reducir esta brecha digital subvencionando políticas que permitan dotar de infraestructura de conectividad a estas regiones. Pero no solo los gobiernos, también organizaciones como internet.org que concentra varias empresas lideradas por Facebook están trabajando en colaboración con otros participantes como (Ericsson, Samsung, Mediatek, Nokia, Qualcomm, Opera SW) para derribar todas estas barreras y facilitar el acceso a internet a la otra mayoría del mundo que no está conectada. Los participantes en la iniciativa

comparten juntos ideas, herramientas, recursos y prácticas recomendadas para analizar soluciones en tres áreas que ofrecen grandes oportunidades: asequibilidad, eficacia y modelo de negocio.

En este contexto, la flexibilidad de LTE, la sencillez de las small cells y la tecnología satélite como segmento de backhaul puede jugar un papel importante ya que su característica de ubicuidad, rápido despliegue, bajo coste, etc la hace accesible y apropiada para entornos rurales y remotos.

## 9.3 Evolución de la tecnología celular

### 9.3.1 Futuro LTE

En el reto de conseguir el doble propósito de, uno, proporcionar hasta 1000 veces más capacidad que la que se está proporcionando ahora, y dos, avanzar con el reto de conectar todas las cosas (internet de las cosas) la red LTE tiene que seguir desarrollándose continuamente en los próximos meses. Los avances esperados para las nuevas versiones pretenden alcanzar las siguientes mejoras tecnológicas:

- 3GPP Rel-12 (Marzo 2015):
  - LTE Direct discovery: LTE Direct se trata de una innovadora tecnología que conecta a dispositivos, se conoce como conexión “dispositivo a dispositivo” y basa su funcionamiento en descubrir qué dispositivos y servicios se encuentran en las proximidades del usuario a un radio de unos 500m todo ello bajo un esquema de espectro licenciado lo que permitirá a los operadores móviles emplear toda una gama de aplicaciones y servicios diferenciados a los usuarios. Se basa en la capa física de LTE para proporcionar un marco escalable y universal para el descubrimiento y la conexión de los pares próximos. En estos momentos compañías como Qualcomm están liderando con otros participantes 3GPP la estandarización de esta característica que se prevé que en los próximos años tenga un auge importante por la cantidad de servicios y aplicaciones que se pueden derivar de esta funcionalidad.
  - LTE Broadcast Evolution (ej. Mood): Funcionalidad de "Multicast operation on Demand" que consiste en que la red detecta automáticamente que varios usuarios están accediendo al mismo contenido de forma unicast y lo que hace el sistema es agrupar a todos esos usuarios para enviarles el contenido en forma de flujo multicast, con lo que se consigue un ahorro de ancho de banda considerable.
  - LTE Cat-0: LTE Categoría-0. La Release 12 proponía una primera versión de conexión de dispositivos M2M de bajo coste y reducida capacidad con el fin de introducir la tecnología M2M en LTE. Estos dispositivos tienen un coste de aproximadamente un 50% inferior a los dispositivos LTE normales y también se reducen algunas capacidades para permitir ser más eficientes como por ejemplo el uso de una única antena Rx, la reducción de la velocidad o el funcionamiento en modo half dúplex.



- **New PSM (Power Save Mode):** En esta Release se desarrolla un nuevo modelo mejorado de ahorro de batería lo cual es muy útil para algunos dispositivos M2M que disponen de batería diminutas, el nuevo modelo PSM se basa en que el dispositivo permanece registrado a la red durante un tiempo reduciendo los requerimientos de señalización cuando el modem despierta.
- **Dual connectivity:** Esta funcionalidad permitirá que un dispositivo móvil sea capaz de conectarse de forma simultánea a dos estaciones bases, p.ej a una macrocelda y a una small cell de forma simultánea lo que permitirá seamless handover e incluso duplicar las capacidades que aportan cada una de las estaciones a las que esté conectado el dispositivo.
- **Enhanced Receivers:** Los dispositivos móviles también deben evolucionar su hardware para poder soportar todas las mejoras, manteniendo un coste y tamaño contenidos. Algunas de las mejoras que se pueden aplicar a los receptores son: Capacidad para cancelación de interferencias entre celdas, técnicas MIMO que penden llegar hasta 8x8, mejora de la coordinación entre small cells y macro cells, nueva generación de técnicas de agregación de portadoras (carrier aggregation) todas estas mejoras al final se traducen en mayores velocidades y mayor calidad en las comunicaciones, pero deberían ser capaces de implementarse sin suponer un incremento adicional de coste del terminal.
- **FDD-TDD Carrier Agregation:** Con esta funcionalidad se busca combinar los modos de acceso TDD y FDD, de forma que éstos sean soportados desde un mismo dispositivo y se aproveche la capacidad agregada de ambos. En la actualidad, los operadores han desplegado esquemas FDD o TDD en función de la disponibilidad existente de espectro, pero es razonable esperar que la evolución futura sea que los operadores desplieguen ambas redes de forma simultánea. El estándar LTE permite de forma inherente la interconexión LTE-TDD → LTE-FDD de forma “seamless” sin interrupción, en el futuro esta interconexión será en ambas direcciones y permitirá agregación combinada de los 2 esquemas siendo por ejemplo LTE FDD para conexión con las redes macros y LTE TDD para conexión con small cells de forma que los recursos espectrales sean mejor aprovechados. El siguiente esquema muestra una idea de la funcionalidad de agregación:

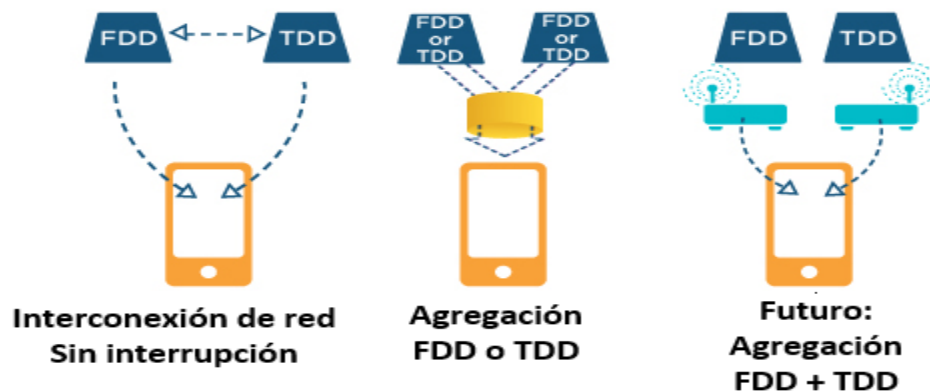


Figura 9.1. Funcionalidad de Agregación de Portadora FDD-TDD

- 256QAM: En la actualidad, LTE soporta en su versión inicial modulaciones de tipo QPSK, 16QAM y 64QAM (Quadrature Amplitude Modulation). Al cambiar a una constelación de orden superior, es posible transmitir más bits por símbolo, en el caso de 64QAM se pueden transmitir hasta 6 bits por símbolo, mientras que 256QAM sería capaz de transmitir hasta 8 bits por símbolo. Esto se traduce en un incremento de la tasa de transferencia. Sin embargo, si la energía promedio de la constelación sigue siendo la misma, los puntos deben estar más cercanos y son por lo tanto más susceptibles al ruido y a la distorsión, lo que resulta en una tasa de bits de error más alta
- 3GPP Rel-13 (Marzo 2016):
    - Optimización eficiente de las comunicaciones de tipo máquina (LTE-M): Se desarrollan nuevas técnicas de optimización para los servicios M2M. Se permite eliminar las técnicas de diversidad y MIMO en TX, lo cual reduce el gasto de recursos de Transmisión. Se permite soportar bandas más pequeñas de hasta 1.4Mhz, por lo que se reducen los requerimientos de diseño RF. Se permite el soporte a datos de muy baja tasa los cuales siguen siendo perfectamente válidos para la mayoría de las aplicaciones basadas en sensores. Se reducen la potencia de transmisión hasta 20dBm lo que permitirá reducir el tamaño del amplificador transmisor. Todo lo anterior se desarrolla con el objetivo de ser capaces de poder integrar en un chip CMOS toda la funcionalidad requerida para conectar un dispositivo de tamaño muy reducido a la red LTE.
    - Nuevas formas de conectarse (LTE Direct D2D): En la Release 13, el concepto de “LTE Direct device-to-device”, adquiere todavía más alcance permitiendo opciones de descubrimiento de dispositivos más flexible, incluso que un dispositivo móvil que se encuentre fuera de cobertura pueda buscar otros dispositivos móviles cercanos y a través de saltos consigan llegar hasta un móvil con cobertura que proporcione conectividad celular a los que se encontraban fuera de la influencia de una celda.
    - Nuevos servicios basados en ultra baja latencia: Se busca como objetivo reducir al máximo la latencia incluso llegando al objetivo de 1ms (RTT desde el nodo RAN hasta el dispositivo UE). Con ello se abre la opción a nuevos usos potenciales como control de procesos automáticos, vehículos cooperativos, servicio de comando y control de dispositivos UAS (Unmanned Aerospace Systems), y en general se vería favorecidos todas las aplicaciones basadas en tiempo real que requieran de rápida interacción del usuario.
    - Nuevos mercados verticales: Nuevos mercados podrían ser objetivos de las nuevas funcionalidades de LTE como p.ej convergencia con TV Broadcast o entrada en mercados LTE MCPTT (Mission Critical Push to Talk over LTE) para servicios de seguridad crítica.
    - Mejor uso del espectro no licenciado para LTE (LTE-U): Se refiere a la utilización de espectro no licenciado en la banda de 5GHz para integrarlo con el espectro actual en banda licenciada y así conseguir mejorar las prestaciones de capacidad y cobertura.

- Servicio de Agregación de Portadoras evolucionado: Avanzar en las técnicas de carrier aggregation para agregar más portadoras ya sean TDD, FDD, combinación TDD/FDD, combinación con Wifi, y combinación con portadoras en espectro no licenciado.
- Nuevas técnicas avanzadas en antenas (3D-FD MIMO full dimension beamforming). Se basa en aumentar la eficiencia espectral por medio de la utilización del dominio espacial de forma selectiva en varias direcciones, para ello se utilizan antenas con directividad controlada dinámicamente.

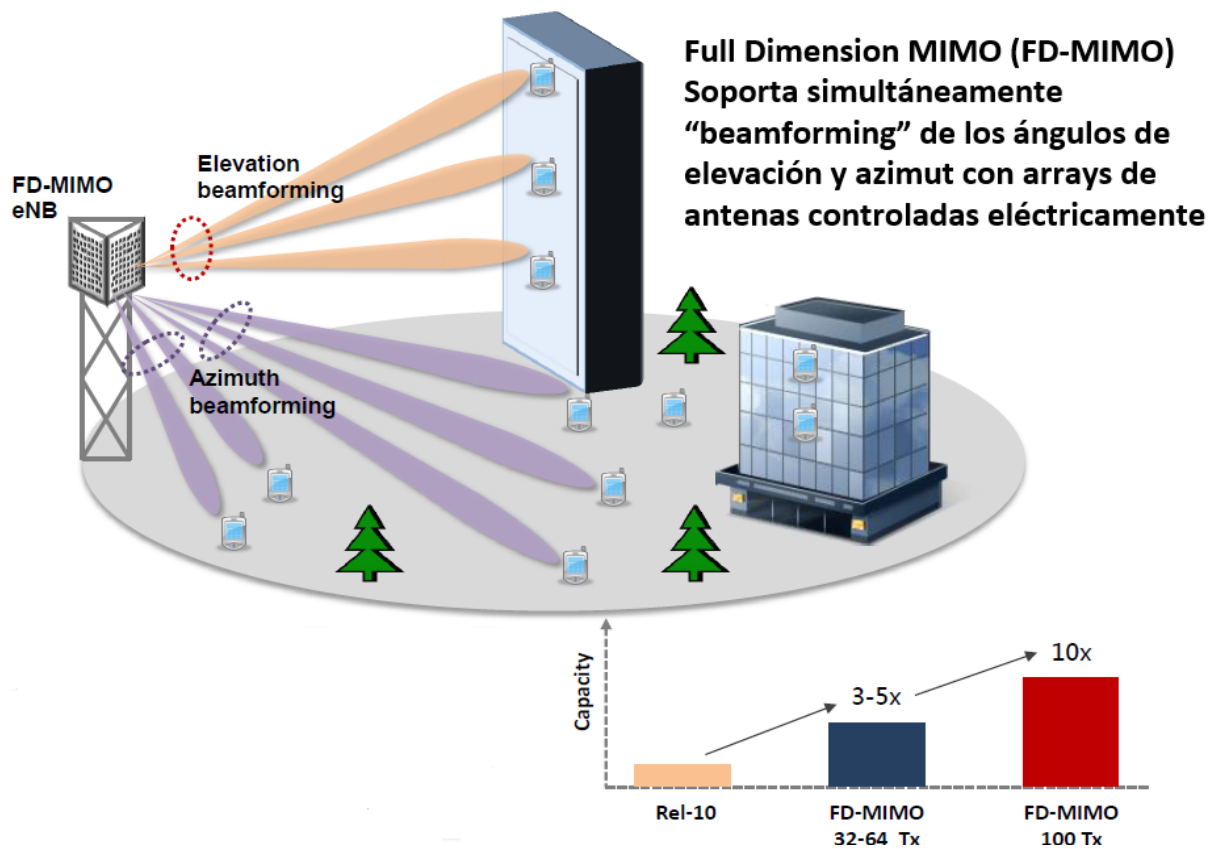


Figura 9.2. Explicación Técnica 3D-FD MIMO

- Nuevos receptores avanzados: Receptores que permitan técnicas NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access): NOMA es una técnica de acceso múltiple que permite superponer múltiples usuarios en el dominio de la potencia. NOMA calcula las pérdidas de cada usuario en su comunicación con la estación base (path loss) para realizar una multiplexación eficiente de los usuarios en base a su potencia de recepción. Esta técnica todavía está por explorar y requeriría de unas capacidades de procesamiento que a día de hoy

son inalcanzables con los procesadores actuales, pero que en el futuro seguramente sí sean capaces de soportarlas.

### **9.3.2 5G**

5G son las siglas utilizadas para referirse a la quinta generación de tecnologías de telefonía móvil celular. Es la sucesora de la tecnología 4G y actualmente se encuentra en fase de desarrollo. Está previsto que su utilización se establezca en 2020 aunque hoy día ya se están dando sus primeros pasos y varias compañías están realizando pruebas centradas en la velocidad de transferencia las cuales consiguen alcanzar tasas pico de más de 5Gbps. Algunos de los objetivos técnicos que persigue alcanzar la tecnología en el momento de su lanzamiento son:

- Tasa máxima de transferencia de datos:  $\geq 10\text{Gbps}$ .
- Anchos de banda mínimo garantizados por terminal  $\geq 100\text{Mbps}$ .
- Latencia  $\leq 1\text{ms}$ .
- Soporte a mayores densidades de terminales activos por  $\text{Km}^2$ .
- Soporte a servicios de movilidad de muy alta velocidad. Terminales que sean capaces de soportar velocidades hasta  $\geq 500\text{km/h}$ .
- Precisión en la localización del terminal  $\leq 5\text{m}$ .
- Arquitectura del sistema basada totalmente en SW que le confiera mayor flexibilidad.
- Autenticación que no esté basada en tarjeta SIM.
- Soporte a infraestructuras compartidas.
- Evolución a Multi-RAT (Multi-Radio Access Technology) y redes Hetnet.
- Robustez, seguridad y privacidad.
- Menor consumo de batería.

## **9.4 Evolución en las small cells**

### **9.4.1 Soporte multi-rat RRM convergencia red wifi**

La nueva generación de small cells debe soportar acceso radio a múltiples tecnologías de forma simultánea y totalmente integrada combinando 3G y 4G con tecnología Wifi. Esta integración presentará nuevos retos en el diseño, operación y optimización de las futuras redes basadas en small cells.

Todos estos años atrás la tecnología Wifi ha funcionado de manera completamente independiente a la tecnología celular para el acceso a Internet. No ha habido ninguna o casi ninguna sinergia entre ambas, pero en estos últimos tiempos se empieza a ver la tecnología Wifi como otra RAN (Red de Acceso Radio), con lo que las opciones de convergencia entre tecnologías empiezan a ponerse bajo análisis.

En el futuro, las funciones de MultiAcceso tendrán incluso un alcance más amplio y deberá abarcar la correcta gestión de la heterogeneidad de la red:

- Multi-acceso a la tecnología: Combinación 4G, 3G, GPRS, WLAN.
- Multi-capa de topologías: Combinación de Macro-cell, metro cell, Small Cell (redes Hetnet).
- Multi-banda en el espectro: fragmentación del espectro.
- Multi-Proveedor RAN: Interface para conexión entre diferentes proveedores sin cortes.
- Multi-Servicios: Combinación de requerimientos de servicios con diferentes QoS.

## **9.5 Evolución del backhaul**

### **9.5.1 XHAUL**

Como se ha podido ver en el apartado anterior, La virtualización en el bloque RAN, puede aportar numerosas ventajas a la red. Pero su implementación implica un cambio completo de la arquitectura de red tradicional de LTE:

- Las estaciones bases (small cells), dejan de tener capacidad decisora y de gestión y pasan a ser simples cabeceras radio (RRH – Remote Radio Heads) que recogen los datos de los usuarios y los envían a un nodo central mediante enlaces de RoF (Radio over Fiber) u otra tecnología.
- El nodo central, está formado por equipamiento cuyas funciones se ejecutan de manera virtualizada. Al ser virtualizado puede ser, de forma flexible y modular, escalable a medida que crece/decrece la red, así como también ser actualizado con nuevas funciones, mejora de redundancia, etc. El nodo central toma el nombre de BBU (Base Band Unit), y sus funciones principales son ejecutar una serie de técnicas que coordinan de forma dinámica la transmisión y recepción de los dispositivos móviles de los que depende con el objetivo de mejorar la calidad del servicio (p.ej gestión de interferencias) así como la utilización de la red. Por tanto forma como una especie de ecosistema donde tiene control sobre todos las RRH y consecuentemente sobre los dispositivos móviles asociados a esta.
- Los enlaces entre los nodos RRH y el nodo central compuesto por BBUs se conocen como enlaces "Fronthaul". Los requerimientos de la conexión de front-haul implican requerimiento de alta capacidad de datos, mínima latencia y jitter estable, por ello la tecnología más adecuada sería la fibra óptica (aunque se está analizando si también podrían

encajar los radioenlaces de micro-ondas). Este requerimiento de fibra óptica hace que la implementación de enlaces de Fronthaul no sea factible en muchos escenarios.

- Finalmente los nodos BBU se conectan vía conexión de "Backhaul" con la red core EPC del operador que a su vez estará conectado a un punto de presencia POP para proporcionar capacidades de transferencia de datos con la red internet, RTBC, etc.
- La siguiente figura muestra un ejemplo de la conectividad Fronthaul, backhaul:

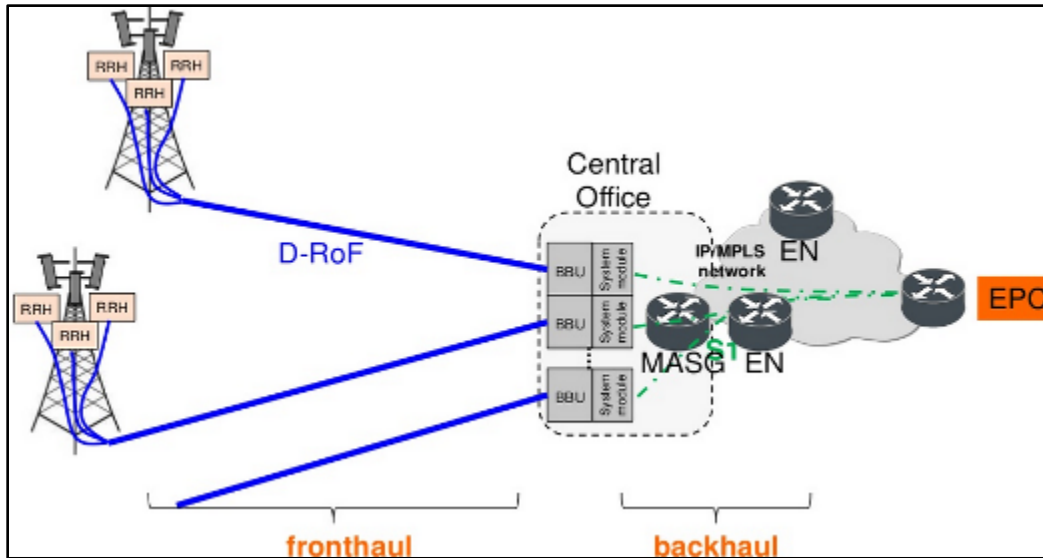


Figura 9.3 Ejemplo de Conectividad Fronthaul, Backhaul [26]

## 9.6 Evolución de la tecnología satélite

### 9.6.1 Nuevos satélites HTS

Los satélites de alto rendimiento son satélites diseñados específicamente para servicios de datos de muy alta capacidad (a diferencia de los satélites tradicionales que son diseñados fundamentalmente para TV Broadcast que operan en órbita GEO) y jugarán en los próximos años un rol importante en la industria satélite permitiendo abrir muchas nuevas opciones de mercado. De acuerdo al estudio realizado por la prestigiosa firma "Nother Sky Research" (NSR), titulado "Global Satellite Capacity Supply & Demand, 12h Edition", indica que el número de proyectos hasta 2024 requerirá de unas capacidades de demanda de ancho de banda para servicios de datos superior a los 3 Terabits. Para ello todas las compañías de satélite están planificando potentes satélites HTS, tanto en su versión GEO-HTS como también MEO-HTS y LEO-HTS. Una de las claves importantes está siendo el paso de la tradicional Banda KU a la Banda KA, donde hay suficiente espectro para crecer y soportar capacidades del orden de las decenas de Gbps. Esta masiva inyección de capacidad disponible por parte de los nuevos satélites HTS provocará un descenso dramático del precio por Mbps factor el cual posicionará a la solución satélite como competitiva frente a otras tecnologías cableadas e inalámbricas.

Uno de los mercados principales que se abren para el satélite, según NSR, es el relativo al mercado de "wireless backhaul" que según sus estimaciones crecerá desde los \$1.7 billones en 2014 hasta los \$5.3 billones en 2024. El satélite será probablemente una tecnología clave en el despliegue de la tecnología 4G-LTE en determinados escenarios de aplicación (rural, remoto, marítimo, aéreo, ferroviario, militar, desastres y labor humanitaria, etc) y probablemente también tenga cabida su presencia en zonas underserved donde la tecnología satélite sirva de "offloading" al restos de tecnologías que tengan presencia.

### **9.6.1.1 Satélite O3B**

O3b significa "Other 3 Billion", es decir "Los otros 3 billones" en referencia a los habitantes de las zonas más desfavorecidas del planeta en cuanto a facilidad para el acceso a Servicios de Conectividad (Internet, red celular, etc). El proyecto arrancó como una iniciativa que tenía por objetivo romper con la brecha digital existente entre los países desarrollados y los países en vías de desarrollo. El objetivo inicial es facilitar el acceso a Internet/Red Celular a bajo coste a 3.000 millones de personas residentes en las regiones emergentes del Hemisferio Sur.

El lanzamiento del primer satélite estaba planificado para 2010, sin embargo, diferentes causas retrasaron el lanzamiento inicial hasta Junio de 2013. En la actualidad, se dispone ya de una constelación estable de 8 satélites.

El proyecto O3b ha sido financiado por diversas empresas atraídas tanto por la proyección social del proyecto como por el potencial económico de llegar a nuevos usuarios. Entre ellas, destacan el Operador de satélites SES-Astra (2º operador mundial de satélites), la compañía Google, bancos como HSBC o compañías de cable como Liberty Global.

Las características principales del proyecto O3b son:

- Tecnología:

La fabricación de los satélites que conforman la red O3b fue encargada al fabricante Thales Alenia Space. Los satélites están basados parcialmente en la plataforma Globalstar 2. Una de sus principales características es que se compone de 12 antenas orientables. Cada antena puede ser controlable de forma individual y es capaz de apuntar y seguir una localización en tierra hasta un ángulo de (+/- 26°). Los satélites son modo "bent-pipe" es decir, sin ningún procesado a bordo. Orbitan a exactamente 8062km (órbita MEO), distancia sensiblemente inferior a los satélites GEO que orbitan a 36000km. El período que toma cada satélite O3b en dar una vuelta completa es de 360 minutos, lo que se traduce en un total de 4 pasadas diarias por el mismo punto. Al ser una constelación de 12 satélites la redundancia está asegurada, es decir, si falla uno de los satélites, los servicios que estuviera prestando en tierra dicho satélite podrían ser perfectamente prestados por alguno de los 11 satélites equivalentes de la constelación. El ciclo de vida estimado para estos satélites se fija según las especificaciones del fabricante en 10 años.

La constelación orbita en el eje ecuatorial y es perfectamente escalable según la demanda creciente del mercado pudiendo llegar a disponer de una constelación de más de 40 satélite orbitando simultáneamente sobre la órbita ecuatorial.

- **Orbita MEO:** Los satélites O3b orbitan a 8062kms, distancia sensiblemente inferior a los satélites GEO que orbitan a 36000kms. Esto le confiere una reducción drástica del delay lo que aporta numerosas ventajas de cara a la prestación de los servicios.
- **Capacidad:** Los satélites O3b operan en la banda de frecuencia Ka, y emplean reutilización de frecuencia. Cada satélite transmite hasta 10 beams que se dirigen a cada una de las 7 regiones de cobertura. Cada beam proporciona unas capacidades de 1.6Gbps (800Mbps x2). El Total de capacidad disponible proporcionada por 8 satélites alcanza los 84Gbps. Los transpondedores son de 216MHz lo que se traduce en una eficiencia de bits segundos por Hercio que llega hasta los 3.7bits/Hz conseguible con modems que implementan modulaciones 32 APSK (dvb-s2). Por otro lado, la capacidad total del sistema puede ser flexiblemente aumentada mediante el lanzamiento de nuevos satélite que agregarían nueva capacidad a la ya existente.
- **Coberturas y ubicación de GWs:** Se dispone de hasta 70 beams de aproximadamente 700kms de diámetro en áreas circulares. La red cuenta con 8 GWs que están distribuidos alrededor de todo el área de cobertura en localizaciones específicas donde hay conectividad de fibra de muy alta capacidad.

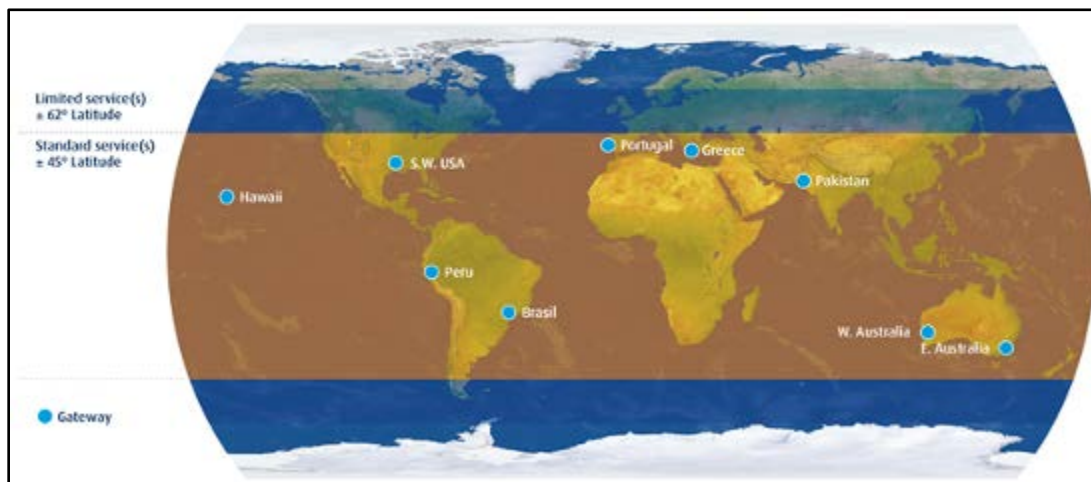


Figura 9.4 Cobertura y ubicación GW Constelación O3B

- **Latencias:** los satélites MEO se encuentran a una distancia de 8062km, por lo que el trayecto que toma un paquete IP hasta llegar al satélite se reduce considerablemente respecto lo que ocurre en el caso de los satélites GEO que están a 36000km. La latencia calculada de un satélite MEO es de 53,8ms (frete a los 240ms del caso GEO). Esta reducida latencia posiciona a los satélites MEO para competir incluso con los delays de fibra óptica de enlaces inter-



continentales y trans-oceánicos y supone una ventaja competitiva muy importante respecto los satélites GEO.

- Limitaciones: El Sistema O3b tiene una importante limitación dado que requiere que todas las estaciones en tierra gestionen adecuadamente el cambio de satélite para no interrumpir el servicio (esto no ocurre en los satélites GEO que orbitan a la misma velocidad que la tierra y por tanto desde la tierra se ven como un punto fijo). Esa gestión de cambio de satélite obliga a que las antenas en tierra tengan que hacer tracking permanente a los satélites para hacer seguimiento de los mismos así como cambios de satélite cuando éstos dejan de ser visibles por las estaciones terrenas. El Sistema Handover que implementa la plataforma O3b está basado en el concepto de "break before make handover" y utiliza 2 antenas para la realización del mismo. Esto supone una importante limitación, primero por su dificultad de implementación, segundo porque resulta costoso al implicar la necesidad de 2 antenas de tracking y tercero porque el mantenimiento también es muy costoso. Es por ello que el sistema o3b centre su mercado a servicios de backhaul e ip trunking que supongan mucho ancho de banda, para minimizar los costes CAPEX de la instalación.
- Servicios: Como hemos comentado los mercados potenciales de O3b se dirigen principalmente a:
  - Tier 1: Servicios de Trunking IP Internacional con las siguientes características:
    - Orientados específicamente a Grandes ISPs o Telcos nacionales,
    - Servicios de mucha capacidad que requieren al menos toda la capacidad de 1 beam completo (640Mbps en dirección Forward y 500Mbps en dirección retorno)
    - Servicios Punto a Punto entre el O3b Gateway y el POP de proveedor.
    - Transmisión en modo SCPC dedicado.
    - Posibilidad de agregar capacidad hasta 11Gbps por satélite
    - Requiere de al menos 2 antenas con capacidad de tracking de 3.5m de tamaño.
    - Utilización para: Transporte primario, Restauración de cable de fibra, Redundancia de red de fibras de alta capacidad.
  - Tier 2: Servicios de Wireless backhaul con las siguientes características:
    - Optimizado para servir a redes Wimax o 3G/4G (torres BTS-BSC-Small Cells)
    - Capacidades de enlace full dúplex de aproximadamente 360Mbps con múltiples retornos.
    - Capacidad para funcionar con tecnologías en modo TDMA o SCPC.
    - Operado en configuración "loop back" o a través de los gateways de red O3b.
    - Operación en beam compartido.
    - Tamaños de antena VSATs (1.2m o 1.8m) con tracking.
    - Latencia máxima para la voz de 65ms (one-way)
  - Tier 3: Servicio Consumer y small business

- Servicio todavía no desarrollados para ser prestado por el Sistema 03b
- Pensado para antenas VSAT de tipo consumer (50cm)
- Capacidades de 2Mbps/512kbps

### 9.6.1.2 OneWeb

OneWeb es un proyecto que busca ofrecer conectividad de datos en todo el planeta. Su lema es "one web – one world". Entre sus principales misiones está el objetivo social de dotar de conectividad a zonas actualmente no conectadas. En estos momentos todavía se está gestando la idea así como en fase de adhesión de las principales compañías que promueven la idea e inversores que apuestan en la misma. Su puesta en funcionamiento comercial se prevé para 2019, pero antes en 2017 serán lanzados los primeros satélite. Entre los principales promotores de la idea están: Virgin Group (conglomerado multinacional que comercializa productos de consumo de todo tipo, desde aerolíneas hasta bebidas), Qualcomm (es una de las mayores multinacionales de chipset para tecnología electrónica de consumo, en especial es uno de los principales suministradores de procesadores para smartphones y redes de comunicaciones), entre los inversores principales se encuentra a: Intelsat (primera operadora mundial de satélites), Hughes (operadora líder en servicios de banda ancha por satélite), Airbus (operadora líder en diseño y construcción de tecnología aeroespacial), y otras empresas de corte más social como Grupo Salinas, Coca-Cola o Bharti.

En definitiva, se cuenta con un elenco importante lo que sin duda asegura que el proyecto irá hacia adelante

Las características principales del proyecto OneWeb son:

- **Tecnología:** El Sistema se basa en la utilización de "micro satélites" que serán construidos bajo producción en masa. A diferencia de los satélites tradicionales que involucran a cientos de ingenieros, los satélites de OneWeb son más compactos, de mucho menor peso, más fáciles de manufacturar y más baratos de lanzar, y cuyo modelo de fabricación está más próximo a la construcción de aparatos como drones que al de satélites convencionales. Los satélites serán diseñados por la compañía "Airbus" y ya hay un acuerdo cerrado con la plataforma de lanzamiento de satélites Ariane para el lanzamiento de los primeros satélites en 2017. En cuanto a los terminales se utilizarán terminales compactos, de precio asequible, de fácil instalación (incluso auto-instalables) eficientes para operación con paneles solares o pequeñas baterías y con integración de chipset Wifi/LTE/3g/2g
- **Órbita:** Los satélites de OneWeb orbitan en la órbita LEO, la cual significa una distancia a la tierra de entre 200 y 2000kms. Esta distancia es drásticamente inferior a los satélites GEO que orbitan a 36000kms, y significativamente inferior a los MEO (orbitan a unos 10.000kms). Esto

le confiere una reducción drástica del delay lo que aporta numerosas ventajas de cara a la prestación de los servicios.

- Capacidades: En total el diseño inicial ha establecido un objetivo de puesta en órbita de 648 satélites que funcionarán en banda Ku. De momento las capacidades y velocidades que proporcionará no están definidas, pero se habla de que cada satélite será capaz de proporcionar hasta 6Gbps, y que el total de la constelación podrá proporcionar hasta 10 terabits por segundo. Los receptores podrán funcionar a una velocidad de hasta de 50Mbps.
- Coberturas: Los 648 satélites proporcionarán cobertura global en todo el planeta incluyendo los polos y la totalidad de los océanos.
- Latencia: los satélites LEO de OneWeb orbitarán a una distancia respecto a la tierra de solo 1200km, por lo que el trayecto que toma un paquete IP hasta llegar al satélite se reduce considerablemente respecto a lo que ocurre en el caso de los satélites GEO que están a 36000km. La latencia calculada para llegar desde tierra a un satélite LEO es de tan solo 3.3ms (frente a los 120ms del caso GEO). Esta reducida latencia posiciona a los satélites LEO para competir incluso con los delays de fibra óptica y supone una ventaja competitiva muy importante con respecto a los competidores GEO Y MEO. Este es uno de los aspectos clave del sistema OneWeb ya que una baja latencia confiere al sistema la mejora en el funcionamiento de las aplicaciones sensibles al retardo, así como perfecta integración con tecnologías celulares como LTE que requieren de baja latencia para la gestión y señalización.

▪ Limitaciones:

La idea de utilizar la órbita LEO para proporcionar capacidad de banda ancha por satélite no es nueva, de hecho es un concepto que ha sido pensado por muchos en el pasado pero que muy pocas compañías han llegado a materializar y con un éxito muy discreto (p.ej Iridium (66 satélites) o Globalstar (40satélites)). El potencial de la idea es muy prometedor desde el plano teórico, pero hay 4 aspectos que estas compañías deben todavía trabajar para convertir este proyecto en una realidad de éxito:

- Aspecto técnico: 800 satélites en órbita LEO implica un diseño técnico extremadamente complejo. Un satélite pasa sobre un terminal durante 45 segundos y desaparece, en ese instante otro satélite ha tenido que entrar y solaparse para hacer un handover sin interrupción y proporcionar servicio al terminal, ello implica que cada menos de un minuto el terminal sea capaz de cambiar de satélite, lo cual implica una sofisticación importante por parte del terminal.
- Aspecto regulatorio: Los satélites tienen fuertes restricciones regulatorias debido a la generación de interferencias entre ellos y otras tecnologías. Disponer de una constelación de 800 satélites añade una elevada complejidad en el control de las interferencias por lo que deberán idearse técnicas que las eviten.
- Aspecto operativo: La operativa en el espacio difiere mucho de la operativa en tierra ya que cualquier problema que se presente una vez el satélite sea lanzado tiene difícil solución.

Por otro lado, los satélites deben controlar su nivel interferente hacia otros satélites que operen en las mismas bandas, para ello, OneWeb está trabajando con la ITU en un diseño llamado "Progressive Pitch" que evita toda interferencia con los satélites geo-estacionarios. La puesta en producción de un sistema tan complejo que requiere lanzar hasta casi 1000 satélites puede llevar varios meses, incluso años, lo cual impacta también en el modelo de negocio, pues el sistema no termina de quedar plenamente operativo hasta pasado varios años lo cual implica que no se consigan retornos durante toda esa larga fase.

- Modelo de negocio: Lanzar 800 satélites tiene un coste importante, la industria aeroespacial es cara, y aunque se consigan reducir los costes de fabricación sigue siendo cara, también los costes de lanzamiento de los satélites son caros (se necesita un lanzador con cohete incorporado) y por su puesto los costes de mantenimiento, tanto del equipamiento en el espacio como de los Telepuertos para control y gestión de la constelación. Todo ello, además sin estar muy claro los canales de retornos que pueden estar en su mayoría basados en bajos ARPUs y acceso a sectores de mercado desfavorecidos sin grandes recursos económicos. A todo ello, hay que sumarle la posible competencia.

- Servicios:

OneWeb informa que su servicio estará especializado en la prestación de comunicaciones para los siguientes usos:

- Cobertura Rural para Operadores Móviles: Las características del sistema OneWeb lo hacen ideal para extender la cobertura móvil allá donde no llegan las tecnologías convencionales de los operadores móviles. El terminal de OneWeb tendrá una small cell embebida, la small cell será totalmente compatible con el estándar 3GPP y con capacidad para prestar Wifi, 2G, 3G y 4G. El terminal funcionará tanto en las bandas licenciadas como no licenciadas. Tendrá un consumo mínimo para que pueda ser alimentado por una pequeña placa fotovoltaica. Además como otra característica importante es que el terminal será diseñado para proporcionar funcionamiento tanto en capa 2 como en capa 3, lo que facilitará a los ISP la extensión e integración de estos puntos con su red core ip.
- Cobertura en Escuelas y Centros médicos: Una de las motivaciones y misiones que se marca el proyecto OneWeb es la dotación de conectividad para escuelas y centros médicos ubicados en zonas desfavorecidas. Por ello es importante del desarrollo de un terminal de muy bajo coste. Desde OneWeb entienden que esto garantizará una herramienta para impulsar la educación, el acceso al conocimiento y a las oportunidades para estas comunidades.
- Vehículo de primera respuesta: En catástrofes como huracanes, terremotos, centros de refugiados, etc. las comunicaciones pueden quedar dañadas y dejar zonas incomunicadas. Un modem inteligente, adaptado en los techos de los vehículos de emergencias será capaz de detectar la existencia de cobertura celular, y si no la hubiere, se activaría para poder proporcionar conectividad asegurando servicios 4G de datos para facilitar la labor humanitaria de ayudantes y personal médico

- Servicio aéreo: La conectividad en aviones en la actualidad es muy pobre y cara, el sistema OneWeb será capaz de proporcionar conectividad para aviones comerciales, jet de negocios, militares, etc. Y no solo datos sino también servicios de navegación, meteorología, monitorización del estado del avión, etc. La antena del terminal OneWeb será muy compacta lo que facilitará su integración en el fuselaje del avión.

### **9.6.1.3 spaceX**

Bajo un esquema muy similar a OneWeb, la compañía SpaceX, junto con partners como Google, planean la idea de lanzar una constelación de cientos de satélites LEO. Hay pocas diferencias entre este proyecto y el de OneWeb, aunque Elon Musk (que además de Cofundador de SpaceX también lo fue de PayPal y Tesla) asegura que sus satélites son más ligeros y avanzados tecnológicamente que los de su rival OneWeb. Además cuenta con un tipo especial de lanzadores que tienen la característica de ser reutilizables y por tanto pueden servir para lanzar numerosos satélites pequeños reutilizándose el vehículo lanzador, lo que repercutiría en un ahorro importante de costes.

### **9.6.1.4 Internet.org**

Los objetivos, motivación y aspiraciones del proyecto Internet.org son también muy similares a la de los proyectos OneWeb y SpaceX. Esta vez el impulsor principal que está detrás de la idea es Mark Zuckerberg (Fundador de Facebook). La diferencia principal respecto sus competidores es que en vez de un satélite en órbita LEO, lo que propone el programa es una constelación de drones (pequeños artefactos aéreos no tripulados). Los drones (llamados Aquila en el proyecto) estarían ubicados a una altura de 27.5Kms (frente a los aproximadamente 1000kms de las orbitas LEO), y tendrían la misma función que un satélite, es decir retransmitir las señales enviadas desde tierra, para hacer llegar los datos a zonas remotas y rurales. Los drones tendrían capacidad para mantenerse en altura gracias a que integran paneles solares que alimentan al sistema. El programa asegura que también se han planteado la utilización de láseres en sustitución de las ondas electromagnéticas con el fin de alcanzar tasas de velocidad hasta 10 veces superiores a las de los estándares actuales. En Julio de 2015, una maqueta fue lanzada con éxito para mostrar al mundo las primeras bases del proyecto.

### **9.6.1.5 Comunicaciones por satélite sobre tecnología láser**

Laser Light Communications, pretende ser la primera compañía en el mundo en proporcionar servicios por satélites ip bajo tecnología láser. En el desarrollo está participando también la primera compañía australiana de satélites (Optus). Los sistemas basados en tecnología óptica ofrecen unas prestaciones de transferencia sin precedentes, hasta 1000 veces más de capacidad respecto los satélites convencionales basados en transferencia por ondas electromagnéticas. El programa trabaja sobre un diseño basado en el lanzamiento de una constelación de 10 satélites en órbita MEO, cuyo primer lanzamiento para pruebas se prevé para 2017. Los servicios a los que se orienta

este sistema están enfocados a aquellos que precisen de gran muy alta capacidad como p.ej grandes enlaces de interconexión, tales como enlaces intercontinentales o submarinos, interconexión de POPs, trunking, backhaul, etc.

## 10 CONCLUSIONES

El presente proyecto ha puesto de manifiesto las capacidades de la tecnología satélite como solución óptima de backhaul de redes LTE de small cells en determinados escenarios específicos cuyo interés no es solo puramente comercial sino también de carácter social, y estratégico. Muchas de los servicios actuales 2G/3G/LTE que se prestan en entornos rurales, comunidades remotas, en zonas de desastres, etc. son solo posibles gracias a la tecnología satélite, pero también en entornos vanguardistas como sector marítimo, sector de transporte aéreo o transporte ferroviario la tecnología satélite hace posible las comunicaciones móviles celulares.

La imparable demanda mundial de comunicaciones de datos a través de la red móvil, el cambio de paradigma de las arquitecturas de macro celdas a las small cells, los beneficios para el desarrollo socio-económico del acceso a la conectividad de internet, las aplicaciones M2M, etc. son suficientes ingredientes para que la industria de comunicaciones por satélite juegue sus cartas y adopte un papel destacado en este nuevo mercado. De momento todavía se están sentando las bases de lo que en un futuro ha de presentarse de forma más ambiciosa a través de proyectos que a buen seguro también van a cambiar el paradigma actual de las comunicaciones por satélite. Ya se vislumbran en el horizonte proyectos innovadores basados en potentísimos satélites HTS, constelaciones MEO y LEO, incluso en pseudo-satélites (drones) liderados por las más potentes compañías tecnológicas actuales (Facebook, Google, Qualcomm, etc). La carrera tecnológica para liderar el espacio para la prestación de servicios de conectividad IP sobre red celular, está tomando un nuevo impulso y en los próximos años previsiblemente seremos testigos de esta revolución en las comunicaciones satélite que contribuirán al despliegue global de las redes 4G, 4G+ y 5G.

# 11 REFERENCIAS, BIBLIOGRAFIA Y ACRÓNIMOS

## 11.1 Referencias

- [1] Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update 2014-2019 White Paper – February 3, 2015 - [http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white\\_paper\\_c11-520862.html](http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white_paper_c11-520862.html)
- [2] Opera Business Blog. Connecting the unconnected - <http://www.operasoftware.com/blog/operator-solutions/connecting-the-unconnected>
- [3] Small Cell Forum - <http://www.smallcellforum.org/>
- [4] SPDY – The Chromium Projects - <https://www.chromium.org/spdy>
- [5] Sat IP - <http://www.infoespacial.com/es/2015/04/15/noticia-hispasat-y-ses-unen-sus-fuerzas-en-la-alianza-satip.html>
- [6] "Virtual Partner Series – HTS and VSAT: New Implications, New Opportunities". blog article. iDirect. Retrieved 21 July 2012. David Bettinger <http://blog.idirect.net/virtual-partner-series-hts-and-vsats-new-implications-new-opportunities/>
- [7] GSMA, “The mobile economy 2014” [http://www.gsmamobileeconomy.com/GSMA\\_ME\\_Report\\_2014\\_R\\_NewCover.pdf](http://www.gsmamobileeconomy.com/GSMA_ME_Report_2014_R_NewCover.pdf)
- [8] Unleashing Mobility Upon the Oil and Gas Industry <http://www.oilandgasmobility.com/>
- [9] GSMA Mobile Economy LatinAmerica [http://www.gsmamobileeconomylatinamerica.com/GSMA\\_ME\\_LatinAmerica\\_2014\\_ES.pdf](http://www.gsmamobileeconomylatinamerica.com/GSMA_ME_LatinAmerica_2014_ES.pdf) – pagina 38
- [10] <http://www.businesstravelnews.com/Business-Travel/CWT-Creates-Framework-To-Study-Business-Travel-Stress/?a=mgmt>
- [11] Viasat Aero Mobile Terminals – Models 2540/2532 – Brochure - [https://www.viasat.com/sites/default/files/media/aero\\_mobile\\_terminal\\_datasheet\\_011\\_web.pdf](https://www.viasat.com/sites/default/files/media/aero_mobile_terminal_datasheet_011_web.pdf)
- [12] Man Packs satélite – Gilat - <http://www.gilat.com/Manpack>
- [13] Disaster Response using satellite backhaul connections – Key Partnerships Speed Response to Typhoon Bopha – Published: January 18, 2013 – By Justin Waller - <http://www.gsma.com/mobilefordevelopment/key-partnerships-speed-response-to-typhoon-bopha>
- [14] <http://www.gilat.com/RuralCom---No-More-Lonely-Road>



- [15] <http://www.gilat.com/Gilat-Deploys-3G-Small-Cell-Network-for-TIM-Brasil-in-Only-Two-Months>
- [16] Technical Specs Lemko EZ-LTE: <http://wdscode.guru/ezltestore/product/ez-lte/>
- [17] Tienda Lemko - <http://wdscode.guru/ezltestore/>
- [18] [http://www.gilat.com/dynimages/t\\_brochures/files/CellEdge-3G-PRODS-290415-FINAL.pdf](http://www.gilat.com/dynimages/t_brochures/files/CellEdge-3G-PRODS-290415-FINAL.pdf)
- [19] [http://www.gilat.com/dynimages/t\\_brochures/files/SkyEdge%20II-c-Capricorn-261114-FINAL.pdf](http://www.gilat.com/dynimages/t_brochures/files/SkyEdge%20II-c-Capricorn-261114-FINAL.pdf)
- [20] <http://www.rsigcg.com/files/NJT5017FL.pdf>
- [21] Cobertura Operador Orange: <http://4g.orange.es/cobertura/>
- [22] [http://www.hispasat.com/contenidos/downloads/notas-de-prensa/es/190/528%20-%20Lanzamientos%20con%20ILS%20y%20SpaceX\\_ES.pdf](http://www.hispasat.com/contenidos/downloads/notas-de-prensa/es/190/528%20-%20Lanzamientos%20con%20ILS%20y%20SpaceX_ES.pdf)
- [23] <http://www.hispasat.com/es/flota-de-satelites/futuros-satelites/hispasat-1f>
- [24] [[http://scf.io/en/documents/076\\_-\\_Regulatory\\_aspects\\_of\\_small\\_cells.php](http://scf.io/en/documents/076_-_Regulatory_aspects_of_small_cells.php)]
- [25] Orbit maritime antenna - Full System deployment in a day: <http://orbit-cs.com/wp-content/uploads/2015/02/OceanTRx7-brochure102015.pdf>
- [26] RAN architecture and Fronthaul challenges - <http://www.slideshare.net/zahidtg/day-11450annapizzinatorangebackhaulsummit>

## 11.2 Bibliografía

- Small Cell Forum. Scf.io. Release Five. Document 047.05.01 – “Rural small cell market size, business case, challenges & solutions” – December 2013
- Small Cell Forum. Scf.io. Release Five. Document 156.05.01 – “Deployment issues for rural and remote small cells” – February 2015.
- Small Cell Forum. Scf.io. Release Five. Document 151.05.02 – “Case Studies, Rural & Remote”
- Small Cell Forum. Scf.io. Release Five. Document 157.05.01 – “Small cell services in rural and remote environments” – March 2015
- Cisco. “Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2014-2019” – May 2015.

- Universidad de Sevilla. Capítulo 2: LTE o la cuarta generación (4G) de Comunicaciones móviles.
- APSCC. Asia-Pacific Satellite Communications Council – Celular Backhaul over Satellite. 2012 Q2
- Small Cell Forum. Scf.io. Release Five. Document 153.05.01 – “Rural and remote small cell network architectures” – March 2015
- Small Cell Forum. Scf.io. Release Five. Documente 155.05.1.02 – “Backhaul Issues for Rural and Remote Small Cells” – June 2015
- CBNL. White paper – “Small cell backhaul: the big picture” – June 2013
- Real Wireless. Version 2.02. – “Business drivers for connecting the unconnected via small cells” – February 2015
- Small Cell Forum. Scf.io. Release Five. Document 049.05.02 – “Backhaul Technologies for Small Cells: Use Cases, Requirements and Solutions” – February 2013
- Revista Antena de Telecomunicación. “Redes heterogéneas. La solución para LTE” – José Manuel Huidobro – Noviembre 2013
- NGMN Alliance Whitepaper. “Small Cell Backhaul Requirements” – June 2012
- Huges Whitepaper. “Huges Radio Access Network Satellite Backhaul Solution” – February 2013
- Accedian Networks White paper.” Small Cells Backhaul Performance Assurance” rev 1.0 – Sept 2012.
- Small Cell Forum. Scf.io. Release Five. Document 105.05.01 – “Rural and remote. Overview” – February 2015
- Small Cell Forum. Scf.io. Release Five. Document 106.05.1.01 – “Virtualization for Small Cells: Overview” – June 2015
- Virtualization in Small Cell Networks. Document 154.05.1.02 – “Virtualization in Small Cell Networks. Translating NFV concepts to SCN Functions” – June 2015
- ESOA. European Satellite Operators Association. – “The Role of Satellite in Relieving Network Congestion”
- Idirect. “Extending 3G and 4G Coverage To Remote And Rural Areas Solving The Backhaul Conundrum”
- Small Cell Forum. Scf.io. Release Five. Document 097.05.1.01 – “Small Cells and License Exempt Spectrum: Carrier Wi-Fi, Wi-Fi Calling, LAA and LWA” – June 2015
- Small Cell Forum. Scf.io. Release Five. Document 099.05.01 – “Security for Small cells” – June 2014.

### 11.3 Acrónimos

3GPP:	3rd Generation Partnership Project
ABS:	Automatic Beam Switching
ACK:	Acknowledge
ACM:	Adaptative Code Modulation
ACU:	Antenna Control Unit
AES:	Advanced Encryption Standard
ARPU:	Average Revenue Per User
BCH:	Bose Chaudhuri-Hocquenghem
BER:	Bit Error Rate
BSC:	Base Station Controller
BTS:	Base Transceiver Station
BUC:	Block Up converter
BW:	Bandwidth
CAPEX:	Capital Expenditures
CCTV:	Closed Circuit TV
CIR:	Committed Information rate
CIO:	Chief Information Officer.
DAMA:	Demmand Assignment MultipleAccess
DAS:	Distributed Antenna System
DdoS:	Distributed denial of Service
DHCP:	Dynamic Host Configuration Protocol
DL:	DownLink
DNS:	Domain Name System
DSL:	Digital Subscriber Line
DVB-RCS:	DVB-Return Channel Satellite
DVB-S2X:	DVB-S2 Extensions
EDGE:	Enhanced Data for GSM Evolution
EMC:	Electromagnetic compatibility
EPC:	Evolved Packet Core
EPS:	Evolved Packet System
ETSI:	European Telecommunications Standards Institute

E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Access Network
FCC:	Federal Communications Commission
FDD:	Frequency Division Duplex
FE-MIMO	Full Dimension MIMO
FEC:	Forward Error Correction
FTP:	File Transfer Protocol
FTTC:	Fiber to the Curb
FUP:	Fair User Policy
GEO:	Geostationary Orbit
GGSN:	Gateway GPRS Support Node
GPRS:	General Packet Radio Service
GPS:	Global Positioning System
GSM:	Global System for Mobile Communications
GTP:	GPRS Tunneling Protocol
GUI:	Graphical User Interface
Hetnet:	Heterogeneous Network
HPA	High Power Amplifier
HSDPA:	High Speed Downlink Packet Access
HSPA:	High Speed Packet Access
HSS:	Home Subscriber Server
HSUPA:	High Speed Uplink Packet Access
HTS:	High Throughput Satellite
ICIC:	Inter-cell Interference Coordination
IETF:	Internet Engineering Task Force
IGMP:	Internet Group Management Protocol
IMS:	IP Multimedia Subsystem
IP:	Internet Protocol
IPSec:	Internet Protocol Security
ISP:	Internet Service Provider
KPI:	Key Performance Indicator
LDPC:	Low Density Parity Check
LEO:	Low Earth Orbit
LNB:	Low Noise Block
LOS:	Line of Sight

LTE:	Long Term Evolution
M2M:	Machine to Machine
MAC:	Media Access Control
ME:	Mobile Equipment
MENA:	Middle East & North Africa
MEO:	Medium Earth Orbit
MF-TDMA:	Multi Frequency TDMA
MIMO:	Multiple Input Multiple Output
MIR:	Maximum Information Rate
MME:	Mobility Management Entity
MPLS	Multiprotocol Label Switching
MTBF:	Mean Time Between Failures
MTTR:	Mean Time to Repair
MTU:	Maximum Transfer Unit
NAT:	Network Address Translation
NGMN:	Next Generation Mobile Networks
NLOS:	Non Line of Sight
NOMA:	Non-Orthogonal Multiple Access
NTP:	Network Time Protocol
ODU:	OutDoor Unit
OFDM:	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA:	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OMT:	Orthomode Transducer
OPEX:	Operating Expense
OTT:	Over the Top
PCRF:	Policy and Charging Rules Function
PDCP:	Packet Data Convergence Protocol
PDNGW:	Packet Data Network GateWay
PEP:	Performance Enhancing Proxies
PIRE:	Potencia Isotrópica Radiada Equivalente
PMC:	Payload Monitoring Control
PMP:	Point to Multipoint
POP:	Point of Presence
PRB:	Physical Resource Block

PSM:	Power Save Mode
PTP:	Point to Point
PTP:	Precision Time Protocol
QAM:	Quadrature Amplitude Modulation
QoE:	Quality of Experience
QoS:	Quality of Service
QPSK:	Quadrature Phase Shift Keying
RFQ:	Request For Quotation
RIP:	Routing Information Protocol
RLC:	Radio Link Control
ROI:	Return of Investments
RRC:	Radio Resource Control
RTBC:	Red Telefónica Básica Conmutada
RTP:	Real Time Protocol
RTT:	Round Trip Time
SC:	Small Cell
SCADA:	Supervisory Control And Data Acquisition
SCF:	Small Cell Forum
SC-FDMA:	Single Carrier Frequency Division Multiple Access
SCPC:	Single Channel Per Carrier
SGSN:	Serving GPRS Support Node
S-GW:	Security Gateway
SIM:	Subscriber Identity Module.
SIP:	Session Initiation Protocol
SMSC:	Short Messaging Service Center
SNMP:	Simple Network Management Protocol
SON:	Self Optimizing Networks
SOTOM:	SatCom on the Move
SPF:	Single Point Failure
TCO:	Total Cost of Ownership
TCP:	Transmission Control Protocol
TDD:	Time Division Duplex
TDM:	Time Division Multiplexing
TDMA:	Time Division Multiplexing Access

TDP:	Transdendedor
TETRA:	Trans European Trunked Radio
UDP:	User Datagram Protocol
UE:	User Equipment
UL:	Uplink
UMTS:	Universal Mobile Telecommunications System
USIM:	Universal Subscriber Identity Module
VLAN:	Virtual Local Area Network
VNO:	Virtual Network Operator
VSAT:	Very Small Aperture Terminal

## 12 ANEXOS

### 12.1 Anexo I: Especificaciones técnicas equipamiento

- Terminal Modem Gilat Capricorn:

#### **Technical Specifications**

##### **Forward Channel**

- **Standard:** DVB-S2 Adaptive Coding and Modulation (ACM)
- **Carrier Rate:** 1.5Msps-67Msps (250Mbps)
- **Modulation:** QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK
- **Coding:** LDPC, BCH
- **FEC:** 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10

##### **Return Channel**

- **Access Scheme:** MF-TDMA, Dynamic Channels
- **Inbound Rates:** Symbol rate - 128Ksps-4Msps
- **Modulation:** QPSK, 8PSK
- **Coding:** TPC
- **FEC:** 1/2, 2/3, 3/4, 4/5, 6/7

##### **Modem Interfaces**

- **RF Input / Output:**  
Two female F connectors, 75  $\Omega$   
RF in frequency - 950-2300MHz  
RF out frequency - 950-2300MHz
- **Data Interfaces:**  
Ethernet 10/100/1000BaseT RJ-45
- **Management Interface:**  
Web-based local management  
Full FCAPS management  
Remote software upgrades over the air  
SNMP

##### **Enhanced Features**

- **IP Features:**  
DHCP, NAT/PAT, DNS caching, IGMPv2, SIP, DiffServ, VLANs, RIPv2, Static Routes, IPv6
- **Security:**  
AES-256 bit encryption Built-in  
IPSEC Client  
ACL Firewall  
x.509 Terminal Authentication
- **Application Acceleration and Protocol Optimization**  
TCP acceleration  
HTTP web pre-fetch acceleration and compression  
3G/LTE cellular data acceleration

##### **Environmental and Mechanical**

- **Size:** 153x140x35 mm (WxDxH)
- **Operating Voltage:** 100V-240V AC
- **Operating Temperature:** 0°C to +50°C

##### **Outdoor Unit (ODU)**

- **Frequency Bands:** C, Ku, Ka
- **Transmit Power:** IDU DC insertion up to 4 Watt
- **Antenna Size:** 0.76m and higher
- **Operating Temperature:** -40°C to +60°C



- Small Cell LEMKO EZ LTE:

## Technical Specifications

<b>PERFORMANCE INDICES</b>	
Working Frequency	3GPP Band
Working Bandwidth	5MHz/10MHz/15MHz/20MHz
Capacity	Single Unit: 150Mbps DL / 50Mbps UL @ 20MHz; 96 (2W) active users, Single 1G BaseT Ethernet Connection
Mobility	≤ 120 Km/h
Output Power (TOC)	Up to 2W (2 x 1W)
Receiver Sensitivity	-105dBm
Synchronization Mode	GPS, IEEE1588
<b>PHYSICAL INDICES</b>	
Weight (DC)	< 2kg
Dimension (H x W x D)	8 x 6 x 3.2 (in) or 210 x 155 x 82 (mm)
<b>POWER INDICES</b>	
Power Supply	12V DC
<b>POWER CONSUMPTION</b>	
Power Dissipation	18W@100% RF load LTE (500mw power out)
<b>ENVIRONMENT INDICES</b>	
Ground	≤5 Ω Earth resistance can be less than 10Ω in lightning-less area with less than 20 lightning storms a year
Storage	Indoor pack depositing Temperature: -45°C to +70°C. Relative Humidity: 5% to 95%
National/International Standard	ETSI EN 301 489-01, ETSI EN 301 489-23 ETSI EN 300 386-V1.3.2 (CISPR22) Class B 1999/5/EC (R&TTE)
Temperature	Outdoor: -20°C to +55°C
Relative Humidity	5% to 95%
Waterproof/Dustproof	IP65
Heat Dissipation	Natural Cooling
<b>RELIABILITY INDICES</b>	
MTTR	1hour
Availability	99.999714%
Downtime Duration	<1.481min/year
<b>EMC INDICES</b>	
MTBF	≥ 350000 hours

## **Lemko EZ LTE Access Point**

Lemko Corporation's EZ LTE Access Point (EZ LTE AP) is based on 3GPP 4G LTE technology.

The EZ LTE AP highlights Lemko's patented approach that virtualizes the EPC and IMS core and integrates it with each eNodeB – it is essentially "coreless LTE". This breakthrough approach allows virtually anyone to deploy LTE access points in the same fashion as Wi-Fi access points and enjoy the same economics and operational model as Wi-Fi but with the added security, efficiency and quality of service that LTE provides. Only Lemko's EZ LTE AP fully leverages the economics of the World Wide Web.

The self-enclosed, compact unit includes the virtualized EPC and eNodeB and is suited for indoor or outdoor use. A single EZ LTE AP provides a complete 4G LTE network including voice, SMS, high speed data and video call services. EZ LTE AP's can be interconnected with a simple IP connection to form a homogeneous network spanning tens to thousands of sites. Inter-carrier roaming is supported by adding Lemko's Node2 Diameter Gateway.

Lemko EZ LTE AP is available with 250mw, 500mw or 2W output power and 20 MHz bandwidth in the LTE spectrum.

### **Key Benefits:**

- "5G Off-the-Shelf" opens LTE deployments to new markets and applications
- "Drop-n-Go" deployment as simple as Wi-Fi but adds LTE security and performance
- Support for Citizen Broadband spectrum makes frequency acquisition easy and inexpensive
- Enabling private LTE deployments eliminates dependencies on public carrier networks
- Distributed virtualized EPC provides lowest cost per GB – lowering OpEx and increasing profit
- Compact design and rugged enclosure is perfect for indoor or outdoor use
- Broad operating temperature and humidity range plus IP65 (Waterproof/Dustproof) ratings allow for deployment in the harshest of environments including outdoor and industrial

### **Software Specification:**

- Cellular radio eNodeB
- PGW, SGW, MME, EPS Core
- Full cellular IMS core
- HSS subscriber database, and authentication
- 32 active users (250/500mw), 96 active users (2W)
- SMS
- High speed data – up to 150 Mbps
- Video calls
- 4G 3GPP compliant LTE air interface
- In-Band mesh networking

- Hub Gilat Sky Ege II C:

## Technical Specifications

<b>General</b>	
<b>Frequency bands</b>	Ka, Ku, C
<b>Forward Channel</b>	
<b>Standard</b>	DVB-S2 ACM
<b>Carrier Rate</b>	Up to 67Msps (250Mbps)
<b>Modulation</b>	QPSK, 8PSK, 16APSK, 32ASPK
<b>Coding</b>	LDPC and BCH
<b>FEC</b>	1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10
<b>Roll-off</b>	0.05, 0.1, 0.2
<b>Return Channel</b>	
<b>Access Scheme</b>	MF-TDM, adaptive inbound
<b>Carriers rates</b>	128Ksps - 6Msps
<b>Modulation</b>	QPSK, 8PSK, 16QAM
<b>Coding</b>	TPC
<b>FEC</b>	1/2, 2/3, 3/4, 4/5, 6/7
<b>Roll-off</b>	0.2
<b>Features</b>	
<b>IP</b>	IPv6, IPv4, DHCP, NAT/PAT, IGMPv3, DiffServ, SIP, RIP
<b>Transparent PEP</b>	Integrated, TCP Acceleration, HTTP web pre-fetching and compression, RTP header compression, SIP aware VoIP, IP header compression, Cellular data acceleration
<b>QoS</b>	Integrated, DiffServ, Multi-Level CIR//MIR (User, Group)
<b>Accounting Usage Services</b>	Integrated quota-based service definition system, Per ISP/VNO, forward & return quota, free usage time zones, quota reset, usage top-ups
<b>Security</b>	AES-256 bit encryption, ACL Firewall, X.509 Terminal Authentication, VSAT IP-SEC client
<b>Service Activation</b>	Do-it-yourself installation, automatic service activation, multi-carrier load balancing within a beam
<b>RF Switching</b>	Integrated, including low-fly simulator
<b>System Scalability</b>	
<b>Forward channel scalability</b>	Up to 1,000 carriers, spread over any number of gateways, satellites, or beams
<b>Terminals</b>	Up to 2,000,000
<b>Management</b>	
<b>System</b>	Single centralized TotalNMS
<b>Framework</b>	ITU / TMF Standards based
<b>GUI Interface</b>	Web based over HTTPS
<b>Northbound Interface</b>	SOAP over HTTPS
<b>SNMP</b>	SNMPv2c
<b>Access Control</b>	Per user permission management
<b>Interfaces</b>	
<b>RF</b>	L-band - Tx: 950 - 2150 MHz Rx: 950 - 2300 MHz, IF-band - Tx:70/140MHz Rx:70/140MHz QMA / N-type, 50 ohms
<b>LAN</b>	10/100/1000 BaseT and 10Gbit optic
<b>Mechanics and Environment</b>	
<b>Certifications</b>	RoHS, CE, ETSI EN 300 386 V1.4.1:2008-04, ETSI EN 301 489-1 V1.8.1:2008-04, ETSI EN 301 489-12 V2.2.2:2008-09, AS/NZS CISPR 22:2006, FCC CFR 47 Part 15 Subpart B, Industry Canada ICES-003:04
<b>Power</b>	Universal AC 110 - 240V 50 - 60Hz
<b>Operating Conditions</b>	0° to +50° C, up to 90% relative humidity

- Especificaciones Antena marítima OceanTRx 4:

## OceanTRx™ 4-500 Typical Features and Specifications

OceanTRx™4 – General Features	
Antenna Type	Dual offset Gregorian
Antenna Size	1.15m (45")
Radome Size	D: 1.55m (61") H: 1.69m (67")
Dynamic Accuracy	0.1° RMS
Dynamics (Ship motion): Roll Pitch Yaw Turning Rate	30° @ 8 Sec 15° @ 6 Sec 8° @ 15 Sec 10°/Sec
Range of Mechanical Pedestal Axes	Azimuth: Continuous Elevation: -30° to +120° Cross Elevation: -75° to +75°
Ship Gyro Interface	NMEA 0183, Step by Step, Synchro
Modem Interface	L-Band
System Weight (including radome, RF dependent)	< 200Kg /441lb
Enhanced Environmental Conditions Compliance	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Shock &amp; Bump: IEC-60721 -4-6 class 6M3</li> <li>• Vibration: IEC-60721-4-6 class 6M3, MIL-STD-167-1 (Mast Mounted), DNV #2.4 Class C</li> <li>• Temperature: -25°C+55°C as per IEC 60945:2002</li> <li>• Wind: Up to 100 knots</li> <li>• Rain &amp; Spray: IEC 60945 Section 8.8/IP Rating X6</li> <li>• Humidity: IEC 60945:2002; Damp Heat Humidity: 93% (+/-3%) @ 40°C</li> <li>• Safety: IEC EN 60950-1; UL 60950-1; CAN/CSA-C22.2</li> <li>• EMC: Conducted &amp; Radiated Emission Immunity; IEC 60945:2002; IEC 61000-4-2,3,4,5,6,11</li> </ul>

	OceanTRx™4-500	
	Ku-band	Ka-band
Operation Frequency	Tx: 13.75-14.50 GHz Rx: 10.95-12.75 GHz	Tx: 27.6-31.0 GHz Rx: 17.8-21.2 GHz Configuration dependent, Consult ORBIT
Antenna Polarity	Linear H/V	Circular Polarity: Tx-RHCP/Rx-LHCP, or Rx-RHCP/Tx-LHCP, electrically selected
System G/T (Typical, complete system including radome)	20 dB/K° @ 12.5GHz (Clear sky, 30° elevation)	20 dB/K° @ 19.7 GHz (Clear sky, 30° elevation)
System EIRP (Typical, at mid range, including all losses)	53.5 dBW (With 16W BUC)	57 dBW (With 10W BUC)
Cross-Pol Discrimination	35dB	24dB
BUC Options	8W/16W/25W/40W	5W/10W/20W
Power Requirements (Typical, single ADE/BDE; Auto ranging input of 90-130VAC or 200-250VAC 50/60 Hz)	ADE: 400W (16W BUC) BDE: <100W RMS	ADE: 400W (10W BUC) BDE: <100W RMS

- Especificaciones Cisco Aironet 1530



#### Compact Outdoor Wireless

- Most compact carrier-grade outdoor access point/mesh/bridge: 186 cubic in (3.0 liter), 5 lb (2.3 kg)
- 2.4- and 5-GHz radios (802.11b/g/n, 802.11a/n)
- 802.11n range and performance with MIMO technology
- Gigabit Ethernet 10/100/1000 WAN and LAN ports
- Controller-based or autonomous operation
- Powered via PoE or separate DC input
- IP67 enclosure with operating temperature range of -22° to 149°F (-30° to +65°C)

#### Cisco Aironet 1530I

- Integrated antennas
- 2.4 GHz: 3x3 MIMO, 3 spatial streams
- 5 GHz: 2x3 MIMO, 2 spatial streams
- Ultra low profile

#### Cisco Aironet 1530E

- External antennas
- 2.4 and 5 GHz: 2x2 MIMO, 2 spatial streams
- Supports dual-band or single-band antennas
- Versatile RF coverage with external antennas

