

eman ta zabal zazu



Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea

UNIVERSIDAD DEL PAÍS VASCO – EUSKAL HERRIKO
UNIBERTSITATEA

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE BILBAO

TESIS DOCTORAL

MODELO DE EVALUACIÓN TÉCNICO-
ECONÓMICA DE TECNOLOGÍAS DE ACCESO

Autor: D. Carlos Bendicho Julián

Directores: Prof. Dr. Juan José Unzilla Galán

Prof.^a Dra. Nerea Toledo Gandarias

Bilbao, Diciembre de 2015

Página dejada intencionadamente en blanco

Página dejada intencionadamente en blanco

Índice General

Índice de Ilustraciones.....	v
Índice de Tablas	ix
Agradecimientos	xiii
Capítulo 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Contexto	1
1.2 Motivación y objetivos.....	3
1.3 Estructura de la tesis.....	5
1.4 Conclusiones	6
Capítulo 2.....	9
ESTADO DEL ARTE: Clasificación y Análisis de los modelos técnico-económicos para redes de acceso	9
2.1 Introducción	9
2.2 Evolución histórica de modelos técnico-económicos para tecnologías de acceso	10
2.2.1 Revisión y análisis de la literatura	11
2.2.2 Cronología de proyectos con financiación pública	17
2.3 Características de un Modelo Técnico-Económico Universal	35
2.4 Clasificación y análisis de los modelos técnico-económicos para redes de acceso	36
2.4.1 Universalidad Multiacceso.....	36
2.4.2 Universalidad en Combinación de Tecnologías de Acceso	39
2.4.3 Universalidad en la Orientación a usuario	40
2.4.4 Universalidad en la incorporación de aproximaciones “micro” y “macro”	42
2.4.5 Orientación a Requisitos de Usuario del modelo.....	43
2.4.6 Universalidad geográfica	45
2.4.7 Universalidad Técnica y Económica.....	45
2.4.8 Extensibilidad y flexibilidad	51
2.4.9 Comparabilidad técnica y económica	52
2.4.10 Característica Predictiva.....	52
2.4.11 Capacidad de Integración con otros modelos.....	56

2.5 Valoración global y ranking.....	57
2.6 Conclusiones	60
Capítulo 3.....	63
MODELO PROPUESTO.....	63
3.1 Definición del modelo.....	64
3.2 Diagrama de bloques del modelo.....	67
3.3 Módulo de Caracterización de Tecnologías de Acceso	69
3.3.1 Submodelo Serie	70
3.3.2 Submodelo Paralelo	78
3.4 Módulo de Redundancia	84
3.4.1 Requisitos de usuario	85
3.4.2 Cálculo del mínimo número de accesos redundantes R para cumplir requisitos de usuario.....	85
3.5 Módulo de Comparación de tecnologías de acceso	91
3.5.1 Figuras de mérito F1 y F2	93
3.5.2 Interpretación de resultados de las figuras de mérito F1 y F2	96
3.6 Resumen del modelo propuesto UTEM.....	101
Capítulo 4.....	103
METODOLOGÍA DE APLICACIÓN DEL MODELO.....	103
4.1 Metodología de Aplicación Aislada del Modelo UTEM.....	104
4.1.1 Metodología	104
4.1.2 Extensión del modelo con nuevos parámetros técnicos y/o económicos	110
4.2 Metodología de Aplicación Combinada (Modular/Extendida/Integrada) del Modelo UTEM.....	112
4.2.1 Alimentación del modelo UTEM por otros modelos.....	113
4.2.2 Alimentación del modelo UTEM hacia otros modelos.....	115
4.3 Escenarios de uso del modelo	116
4.4 Conclusiones	118
Capítulo 5.....	121
VALIDACIÓN.....	121
5.1 Validación Cualitativa.....	122
5.1.1 Validación característica Universalidad Multiacceso	123
5.1.2 Validación característica Universalidad en Combinación de tecnologías	124
5.1.3 Validación característica Universalidad en la Orientación a usuario.....	125
5.1.4 Validación característica Universalidad en la incorporación de Aproximaciones “micro” y “macro”	125

5.1.5 Validación característica Orientado a Requisitos de Usuario del modelo	126
5.1.6 Validación característica Universalidad geográfica.....	127
5.1.7 Validación característica Universalidad técnica y económica	128
5.1.8 Validación característica Extensibilidad y Flexibilidad.....	129
5.1.9 Validación característica Comparabilidad técnica y económica.....	129
5.1.10 Validación característica Predictivo.....	130
5.1.11 Validación característica Integrable.....	130
5.1.12 Resumen.....	131
5.2 Validación Cuantitativa en Escenarios de Aplicación Aislada del Modelo...	132
5.2.1 Escenarios contemplados	132
5.2.2 Consideraciones generales	133
5.2.3 Resultados	137
5.3 Validación Cuantitativa en Escenarios de Aplicación Combinada del Modelo	167
5.4 Validación Cuantitativa de la capacidad predictiva del modelo	168
5.5 Validación resultados del modelo con resultados de otros modelos.....	171
5.6 Conclusiones	171
Capítulo 6.....	175
CONCLUSIONES	175
6.1 Síntesis del trabajo de investigación	175
6.2 Aportaciones	177
6.3 Líneas de investigación futuras.....	178
Glosario	181
ANEXOS	191
A Escenarios adicionales de Aplicación Aislada contemplados en la Validación Cuantitativa del modelo UTEM.....	193
A.1 Escenario 3: Punto de acceso WiMAX 802.16 con backhaul WiMAX 802.16	193
A.2 Escenario 4: 4G-LTE	198
A.3 Escenario 5: Acceso FTTH con router virtualizado.....	202
A.4 Escenario 6: Línea dedicada punto a punto 34 Mbits/s.....	206
A.5 Escenario 7: Acceso redundante 2 x ADSL.....	210
A.6 Escenario 8: ADSL en paralelo con punto de acceso WiFi IEEE 802.11g y backhaul WiMAX 802.16	214
A.7 Escenario 9: VDSL.....	218
BIBLIOGRAFÍA	223

Página dejada intencionadamente en blanco

Índice de Ilustraciones

<i>Figura 1.1: Estructura de la tesis</i>	5
<i>Figura 2.1: Evolución histórica de proyectos que desarrollan o utilizan modelos de evaluación técnico-económica para redes de acceso, junto con la evolución histórica de tecnologías de acceso. Fuente: ICP-ANACOM, European Commission (ec.europa.eu) y websites de cada proyecto.</i>	19
<i>Figura 2.2: Ciclo de cálculo básico anual del modelo STEM [GRA90].</i>	20
<i>Figura 2.3: Estructura general de la metodología y herramienta TITAN [OLS96].</i>	21
<i>Figura 2.4: Modelo de evaluación tecno-económica OPTIMUM [OLS99].</i>	23
<i>Figura 2.5: Enfoque del proyecto TERA para la generación de líneas de desarrollo tecno-económicas (guidelines) [LAH06].</i>	23
<i>Figura 2.6: Modelo de evaluación tecno-económica TONIC [WEL02].</i>	24
<i>Figura 2.7. Metodología de evaluación técnico-económica del proyecto ECOSYS [LAH06].</i>	26
<i>Figura 2.8: Modelo de evaluación tecno-económica MUSE [MON05].</i>	27
<i>Figura 2.9: Esquema marco (framework) de OASE [CAS10].</i>	28
<i>Figura 2.10: Ejemplo de análisis TCO utilizando TONIC como frame-tool en el proyecto OASE. Se muestran para algunos casos las herramientas y métodos desarrollados por diferentes partners (en color verde) [CAS10].</i>	28
<i>Figura 2.11: Metodología OASE de evaluación técnico-económica para el despliegue de redes [VER09].</i>	29
<i>Figura 2.12: Diagrama de flujo de evaluación técnico-económica en BONE [KAN10].</i>	30
<i>Figura 2.13: Diagrama del modelo técnico-económico 4GBB [PHI13].</i>	33
<i>Figura 3.1 Diagrama de bloques del Modelo UTEM</i>	68
<i>Figura: 3.2 Diagrama de bloques del Módulo de Caracterización de Tecnologías de Acceso.</i>	70
<i>Figura 3.3: Representación gráfica del Submodelo Serie.</i>	71
<i>Figura 3.4: Submodelo Paralelo.</i>	78

.....	79
<i>Figura 3.5: Utilización del Submodelo Paralelo para caracterizar accesos de diferentes tecnologías conectados en paralelo.</i>	79
<i>Figura 3.6: Flujograma del proceso de cálculo del mínimo número de accesos redundantes R necesarios para que una tecnología de acceso cumpla los requisitos de usuario.</i>	86
<i>Figura 3.7: Diagrama de entradas y salidas del Módulo de Comparación de Tecnologías de Acceso.</i>	93
<i>Figura 3.8: Ejemplo de comparación de ADSL y FTTH en función del parámetro disponibilidad. Resultado de aplicación de la fórmula (3.3).</i>	97
<i>Figura 3.9: Ejemplo de comparación gráfica de tecnologías en base a las prestaciones técnico-económicas F1. Resultado de aplicación de la fórmula (3.68).</i>	98
<i>Figura 3.10: Ejemplo de comparación gráfica de tecnologías en base a la Eficiencia F2. Resultado de aplicación de la fórmula (3.69).</i>	98
<i>Figura 3.11: Ejemplo de comparación de tecnologías ADSL y FTTH en función de 2 variables, en este caso F1 y ARPU. Resultado de aplicación de la fórmula (3.68) para el cálculo de F1, y (3.36) para ARPU anualizado.</i>	99
<i>Figura 3.12: Ejemplo de comparación de tecnologías ADSL y FTTH en función de las variables F2 y el tiempo (años). La evolución temporal de F2 se ha elaborado considerando la fórmula (3.69). Se ha utilizado la aproximación de curvas logísticas de evolución anual del coste de los componentes según [OLS96].</i>	100
<i>Figura 4.1: Diagrama de bloques del modelo UTEM (Aplicación Aislada). Se muestra entre paréntesis el orden de la secuencia de aplicación de los bloques del modelo UTEM.</i>	105
<i>Figura 4.2: Submodelo Serie y Submodelo Paralelo. Flujograma de funcionamiento.</i>	107
<i>Figura 4.3: Esquema marco del proyecto OASE [CAS10].</i>	112
<i>Figura 4.4: Alimentación del Modelo UTEM por otros modelos complementarios de cara al enfoque “macro”.</i>	114
<i>Figura 5.1: Comparativa entre tecnologías de acceso en función de las prestaciones técnicas (Figura de Mérito F1).</i>	151
<i>Figura 5.2: Comparativa entre tecnologías de acceso en función de la eficiencia técnico-económica F2. Las unidades de F2 en este caso son % / K€ dando cuenta de las prestaciones técnicas por unidad económica.</i>	152

<i>Figura 5.3: Comparativa entre tecnologías de acceso en función del Ancho de Banda Medio de Recepción.....</i>	<i>153</i>
<i>Figura 5.4: Comparativa entre tecnologías de acceso en función del Ancho de Banda Medio de Emisión.</i>	<i>154</i>
<i>Figura 5.5: Comparativa entre tecnologías de acceso en función de la Disponibilidad.....</i>	<i>154</i>
<i>Figura 5.6: Comparativa entre tecnologías de acceso en función del número mínimo de accesos redundantes necesarios para cumplir los requisitos de cliente establecidos en este caso de uso como ejemplo.</i>	<i>155</i>
<i>Figura 5.7: Ejemplo de comparativa gráfica de tecnologías de acceso en función de las prestaciones F1 (%) vs. Coste económico anual por usuario.....</i>	<i>156</i>
<i>Figura 5.8: Ejemplo de comparativa gráfica de tecnologías de acceso en función de la eficiencia F2 (%/€) vs. Coste económico anual por usuario.....</i>	<i>157</i>
<i>Figura 5.9: Comparativa de tecnologías de acceso según prestaciones técnicas F1 para ejemplo de requisitos de cliente usuario tipo PYME.....</i>	<i>161</i>
<i>Figura 5.10: Comparativa de tecnologías de acceso según eficiencia económica F2 para ejemplo de requisitos de cliente usuario tipo PYME.....</i>	<i>162</i>
<i>Figura 5.11: Comparativa de escenarios en base a las prestaciones técnicas F1 con ejemplo de requisitos de cliente usuario tipo Residencial en el año 2006 según requisitos Agenda Europea i2010 [GAP07][DIG11].....</i>	<i>164</i>
<i>Figura 5.12: Comparativa de escenarios en base a la eficiencia económica F2 en el ejemplo del Caso C (Año 2006).</i>	<i>165</i>
<i>Figura 5.13: Evolución de F2 para las tecnologías de acceso ADSL y FTTH. Gráfica obtenida incorporando la evolución de coste anual por usuario para ADSL y FTTH según datos obtenidos de [OVU15a][OVU15b].</i>	<i>168</i>
<i>Figura 5.14: Evolución de accesos xDSL vs. FTTH en Suecia. Fuente: Analysis Mason 2015 [MAS15b].</i>	<i>169</i>
<i>Figura 5.15: Evolución de accesos xDSL vs. FTTH en Reino Unido. Fuente: Analysis Mason 2015 [MAS15b].....</i>	<i>169</i>
<i>Figura 5.16: Evolución de accesos xDSL vs. FTTH en España. Fuente: Analysis Mason 2015 [MAS15b]</i>	<i>170</i>

Página dejada intencionadamente en blanco

Índice de Tablas

<i>Tabla 2.1 Artículos que desarrollan o utilizan modelos de evaluación tecno-económica</i>	15
<i>Tabla 2.2: Análisis de la literatura en base a la característica Universalidad Multiacceso.</i>	38
<i>Tabla 2.3: Análisis de la literatura en base a la característica Universalidad en Combinación de tecnologías de acceso</i>	40
<i>Tabla 2.4: Análisis de la literatura en base a la característica Universalidad en la orientación a usuario.</i>	42
<i>Tabla 2.5: Análisis de la literatura en base a la característica Orientación a Requisitos de Usuario del modelo</i>	44
<i>Tabla 2.6: Análisis de la literatura en base a los parámetros de entrada y salida técnicos y económicos a fin de evaluar la característica Universalidad técnica y económica</i>	51
<i>Tabla 2.7: Análisis de la literatura en base a la característica predictiva.</i>	55
<i>Tabla 2.8: Análisis de la literatura en base a la capacidad de integración de cada modelo con otros modelos.</i>	57
<i>Tabla 2.9: Valoración y ranking de la literatura en función del grado de cumplimiento de las características de un modelo técnico-económico universal, generalizable, escalable y flexible.</i>	58
<i>Tabla 2.10: Valoración y ranking de la literatura en función del grado de cumplimiento de las características de un modelo técnico-económico universal, generalizable, escalable y flexible (cumplimiento normalizado por característica en base 100).</i>	59
<i>Tabla 3.1 Características del modelo tecno-económico teórico para redes de acceso que se satisfacen por cada uno los módulos definidos así como por la metodología de aplicación del modelo UTEM.</i>	66
<i>Tabla 5.1: TOP 5 del ranking de modelos de la literatura.</i>	123
<i>Tabla 5.2 Validación del modelo propuesto respecto a la característica Universalidad multiacceso.</i>	124
<i>Tabla 5.3 Validación del modelo propuesto respecto a la característica Universalidad en Combinación de Tecnologías</i>	124

<i>Tabla 5.4 Validación del modelo propuesto respecto a la característica Universalidad en la Orientación a Usuario.</i>	125
<i>Tabla 5.5: Validación del modelo propuesto respecto a la característica Universalidad en la incorporación de Aproximaciones “micro” y “macro”.</i>	126
<i>Tabla 5.6: Validación del modelo propuesto respecto a la característica Orientado a Requisitos de usuario del modelo.</i>	126
<i>Tabla 5.7: Validación del modelo propuesto respecto a la característica Universalidad geográfica.</i>	127
<i>Tabla 5.8 Validación del modelo propuesto respecto a la característica Universalidad Técnica y Económica</i>	128
<i>Tabla 5.9 Validación del modelo UTEM respecto a la característica Extensibilidad y Flexibilidad</i>	129
<i>Tabla 5.10 Validación del modelo propuesto respecto a la característica Comparabilidad técnica y económica.</i>	129
<i>Tabla 5.11 Validación funcional del modelo propuesto UTEM respecto a la característica Predictivo.</i>	130
<i>Tabla 5.12 Validación funcional del modelo propuesto UTEM respecto a la característica Integrable</i>	131
<i>Tabla 5.13: Resumen de la validación cualitativa del modelo propuesto UTEM.</i> ..	131
<i>Tabla 5.14: Requisitos de cliente para usuario tipo residencial que requiere de un acceso con conexión a Internet y recepción de contenidos TV UHD 4K según [NW15]</i>	134
<i>Tabla 5.15: Preferencias de usuario establecidas como ejemplo para la validación cuantitativa.</i>	136
<i>Tabla 5.16: Parámetros de entrada en escenario ADSL</i>	140
<i>Tabla 5.17: Parámetros de salida yk y figuras de mérito F1 y F2 en escenario ADSL.</i>	141
<i>Tabla 5.18: Mínimo número de accesos redundantes R para que la tecnología ADSL cumpla los requisitos de usuario establecidos.</i>	142
<i>Tabla 5.19: Parámetros de entrada en escenario FTTH.</i>	146
<i>Tabla 5.20: Parámetros de salida yk y figuras de mérito F1 y F2 en escenario FTTH.</i>	147
<i>Tabla 5.21: Mínimo número de accesos redundantes R para que la tecnología FTTH cumpla los requisitos de usuario establecidos.</i>	148

<i>Tabla 5.22: Resumen salida de datos del modelo para unos requisitos de usuario tipo residencial con ancho de banda mínimo 30Mbits/s según [NW15][DIG11]</i>	<i>150</i>
<i>Tabla 5.23: Comparativa de resultados ofrecida por el modelo propuesto UTEM para este ejemplo de usuario tipo PYME.</i>	<i>160</i>
<i>Tabla 5.24. Comparativa de escenarios para ejemplo con requisitos de cliente de usuario tipo Residencial y ancho de banda mínimo en recepción de 2 Mbits/s según criterios establecidos por la Estrategia Europea de Lisboa y Agenda Europea i2010 [GAP07][DIG11].....</i>	<i>163</i>
<i>Tabla 5.25: Resumen de validación del modelo UTEM</i>	<i>173</i>
<i>Tabla A.1: Parámetros de entrada en escenario WiMAX 802.16 con backhaul WiMAX 802.16.....</i>	<i>195</i>
<i>Tabla A.2: Parámetros de salida yk y figuras de mérito F1 y F2 en escenario WiMAX 802.16 con backhaul WiMAX 802.16.....</i>	<i>196</i>
<i>Tabla A.3: Mínimo número de accesos redundantes R para que la tecnología WiMAX 802.16 con backhaul WiMAX 802.16 cumpla los requisitos de usuario establecidos.</i>	<i>197</i>
<i>Tabla A.4: Parámetros de entrada en escenario 4G-LTE.</i>	<i>199</i>
<i>Tabla A.5: Parámetros de salida yk y figuras de mérito F1 y F2 en escenario 4G-LTE.</i>	<i>200</i>
<i>Tabla A.6: Mínimo número de accesos redundantes R para que la tecnología 4G-LTE cumpla los requisitos de usuario establecidos.....</i>	<i>201</i>
<i>Tabla A.7: Parámetros de entrada en escenario FTTH con router virtualizado. ...</i>	<i>203</i>
<i>Tabla A.8: Parámetros de salida yk y figuras de mérito F1 y F2 en escenario FTTH con router virtualizado.....</i>	<i>204</i>
<i>Tabla A.9: Mínimo número de accesos redundantes R para que la tecnología FTTH con router virtualizado cumpla los requisitos de usuario establecidos.....</i>	<i>205</i>
<i>Tabla A.10: Parámetros de entrada en escenario Línea dedicada punto a punto 34 Mbits/s.</i>	<i>207</i>
<i>Tabla A.11: Parámetros de salida yk y figuras de mérito F1 y F2 en escenario Línea dedicada punto a punto 34 Mbits/s.</i>	<i>208</i>
<i>Tabla A.12: Mínimo número de accesos redundantes R para que la tecnología Línea dedicada punto a punto 34 Mbits/s cumpla los requisitos de usuario establecidos.....</i>	<i>209</i>
<i>Tabla A.13: Parámetros de entrada en escenario Acceso redundante 2 x ADSL. ..</i>	<i>211</i>
<i>Tabla A.14: Parámetros de salida yk y figuras de mérito F1 y F2 en escenario Acceso redundante 2 x ADSL.</i>	<i>212</i>

<i>Tabla A.15: Mínimo número de accesos redundantes R para que la tecnología Acceso redundante 2 x ADSL cumpla los requisitos de usuario establecidos.</i>	<i>213</i>
<i>Tabla A.16: Parámetros de entrada en escenario ADSL en paralelo con punto de acceso WiFi IEEE 802.11g y backhaul WiMAX 802.16.</i>	<i>215</i>
<i>Tabla A.17: Parámetros de salida y_k y figuras de mérito $F1$ y $F2$ en escenario ADSL en paralelo con punto de acceso WiFi IEEE 802.11g y backhaul WiMAX 802.16.</i>	<i>216</i>
<i>Tabla A.18: Mínimo número de accesos redundantes R para que la tecnología ADSL en paralelo con punto de acceso WiFi IEEE 802.11g y backhaul WiMAX 802.16, cumpla los requisitos de cliente.</i>	<i>217</i>
<i>Tabla A.19: Parámetros de entrada en escenario VDSL.</i>	<i>219</i>
<i>Tabla A.20: Parámetros de salida y_k y figuras de mérito $F1$ y $F2$ en escenario VDSL.</i>	<i>220</i>
<i>Tabla A.21: Mínimo número de accesos redundantes R para que la tecnología VDSL cumpla los requisitos de cliente establecidos.</i>	<i>221</i>

Agradecimientos

Quisiera dedicar este espacio para agradecer especialmente a todos aquéllos que han hecho posible este trabajo. A mi mujer Soraya, por su siempre incondicional apoyo y ayuda en todo lo que emprendo. A mi hijo Daniel, por ser fuente de inspiración para, día a día, perseverar y superar etapas, manteniendo siempre el rumbo. A mi hija Marta, por enseñarme desde que llegó a este mundo, que sólo con resistencia, esfuerzo e ilusión, se vencen los obstáculos para alcanzar los objetivos. A mi hija Laura, porque cada día nos enseña que el motor de la vida es la alegría, el optimismo y el aprendizaje. Gracias a los cuatro, por vuestra alegría y sonrisa inspiradora de todas las mañanas.

A mis padres, Carlos y Agurtzi, por ser un modelo de esfuerzo y trabajo, y por enseñarme a acabar todo lo que se empieza. A mis suegros, Manuel y Esther, por ser también un ejemplo y porque con su presencia, ayuda y apoyo, todo funciona.

A Juanjo, por acompañarme y dirigirme durante este largo camino, no exento para los dos de dificultades personales y profesionales. A Nerea, quien con su ayuda y acierto, ha impulsado la materialización final de este trabajo. Y a Mariví, por sus inestimables comentarios que han ayudado a la redacción final del documento.

A todos vosotros, dedico especialmente este trabajo.

“Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad”.

– Albert Einstein –

Bilbao, Diciembre de 2015.

Página dejada intencionadamente en blanco

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Contexto

Las redes privadas de datos evolucionaron desde la interconexión de nodos mediante líneas dedicadas punto a punto, a las primeras redes de conmutación de paquetes que permitían una flexibilidad mayor en la gestión, hasta llegar a las Redes Privadas Virtuales IP, que permitieron ofrecer soluciones de acceso y conectividad mucho más robustas y más económicas que las tecnologías predecesoras. La revolución vino de la mano de servicios de Redes Privadas Virtuales IP que permitieron no sólo utilizar accesos punto a punto dedicados desde el domicilio del cliente hasta el punto de acceso sino también incorporar las nuevas tecnologías de acceso de banda ancha xDSL abaratando por tanto el conjunto de la solución técnica al optar por soluciones más económicas de acceso.

Estas Redes Privadas Virtuales IP permitían y permiten también el acceso a usuarios remotos mediante túneles para garantizar un nivel mínimo de seguridad en el acceso a la información como por ejemplo los túneles IPSec. Estos usuarios remotos podían acceder desde ubicaciones fijas o bien podían hallarse en movilidad. Las diferentes tecnologías de tunelización permitían incluso crear redes privadas virtuales sobre la propia Red IP de un operador sin contratar ningún servicio de red privada virtual. El uso de esta tecnología sigue vigente a día de hoy.

A su vez, los diferentes agentes del sector de las telecomunicaciones, tienen siempre necesidades técnicas como el ancho de banda y la disponibilidad entre otras, y económicas: precio, ingresos, CapEx, OpEx, etc. relativas a la red de acceso, que es preciso satisfacer optando entre las diferentes alternativas, cada vez mayores, de tecnologías de acceso, incluidas las alternativas con accesos virtualizados.

La red de acceso, debido a ser la parte de la red que mayor capilaridad requiere con el fin de dar servicio a todos los usuarios finales, es la parte de la red que mayor volumen de inversión CapEx y costes de operación OpEx consume, constituyendo el denominado problema de la última milla (“last mile” problem).

La creciente necesidad de interconexión de dispositivos de diferente naturaleza y en entornos muy diversos acuñada en el Internet of Things, el Internet Industrial, los vehículos conectados o el Internet of Everything, así como la mejora de resolución de vídeo en difusión o en streaming de Ultra Alta Definición 4K/8K, provoca que esas necesidades técnicas de ancho de banda y disponibilidad entre otras, evolucionen, al igual que las necesidades económicas, impactando en la elección de las tecnologías de acceso y en el diseño de las redes de acceso.

Existen además diferentes perfiles de usuario final con distintas necesidades, también dinámicas, en el ámbito Residencial, PYME, Gran Empresa, Administraciones Públicas, condicionadas por el sector de actividad en el caso de las empresas, el área geográfica, el perfil socio-demográfico, etc. Así también, existe una gran variedad de agentes que intervienen en el mercado de las telecomunicaciones, cada uno con sus necesidades particulares, ya sean clientes, usuarios finales, operadores, consultorías, firmas de análisis, Organismos Reguladores, Administraciones Públicas, Proveedores de Servicios de Contenidos, OTTs, etc.

Por tanto, las redes de acceso se encuentran en continua evolución, en un entorno dinámico, de tal manera que se hace necesario el desarrollo de modelos técnico-económicos de aplicación universal para facilitar la elección de la solución técnica más adecuada en cada escenario, que satisfaga dichas necesidades técnicas y económicas cambiantes.

Tradicionalmente, *“los modelos técnico-económicos son un método que se utiliza para evaluar la viabilidad económica de sistemas técnicos complejos”*, según la tesis doctoral de Smura [SMU12], que obvia en dicha definición, cualquier evaluación de la viabilidad técnica.

En línea con dicha definición, los procesos actuales de toma de decisiones en cuanto a la elección de las tecnologías de acceso están basados casi exclusivamente en criterios económicos, lo cual conlleva el riesgo de cometer graves errores técnicos que pueden comprometer la viabilidad económica prevista.

A este respecto, en el marco del proyecto europeo BONE y con anterioridad a la tesis doctoral de Smura, se publica en 2010 el artículo titulado “Marco General para Análisis Tecno-Económico de Redes de Acceso” [KAN10], que sugiere, aunque no desarrolla, la necesidad adicional de evaluación de la viabilidad técnica. Este aspecto también fue abordado por el autor del presente trabajo de investigación en el artículo titulado “What about ‘first mile’ availability?” en el año 2004 [BU04], en el que se demostraba que la redundancia de accesos ADSL permitía alcanzar disponibilidades ‘carrier-grade’ (99,9999%), además de mejorar el conjunto de prestaciones técnicas del acceso equivalente.

Por tanto, se requiere una extensión del concepto de análisis técnico-económico más amplia, que subraye la evaluación de la viabilidad técnica, y que se vea respaldada por modelos técnico-económicos que la desarrollen.

Por todo ello, el concepto de modelo técnico-económico de esta tesis doctoral va más allá del alcance tradicional mencionado, puesto que el autor además incluye y subraya la necesidad ineludible de realizar la evaluación de la viabilidad técnica. Desde esta perspectiva, la nueva definición que el autor propone queda como sigue:

“Los modelos técnico-económicos son un método que permite la evaluación de la viabilidad técnica y económica de sistemas técnicos complejos.”

Esta nueva definición enfatiza tanto el aspecto técnico como el económico de la modelización, considerando la viabilidad técnica como la satisfacción de requisitos y necesidades técnicas determinadas.

Por otro lado, los modelos técnico-económicos de la literatura se encuentran eminentemente orientados hacia las dinámicas de despliegue de redes de acceso impulsadas por parte de fabricantes y operadores, obviando la perspectiva de los usuarios finales, por lo que se requieren modelos técnico-económicos que puedan reflejar y dar respuesta a ambas perspectivas, con el fin de contribuir a un equilibrio del mercado.

Esta tesis doctoral surge de un análisis pormenorizado de la literatura de modelización técnico-económica en el ámbito de las redes de acceso, que aborda la problemática de carestía de la última milla, corroborada por la financiación pública de proyectos en este campo, y por la experiencia profesional del autor en su ejercicio profesional como ingeniero de telecomunicación, de cara a tomar decisiones y diseñar soluciones técnicas innovadoras en el área de tecnologías de acceso. Todo ello, con el fin de satisfacer las necesidades e intereses de los diferentes agentes del mercado de telecomunicaciones: operadores, clientes, usuarios finales, organismos reguladores, proveedores de servicios de contenidos, organismos de estandarización, etc.

1.2 Motivación y objetivos

En el marco de esta investigación, se denominan modelos técnico-económicos universales y generalizables, aquéllos que permitan elegir la solución técnica más adecuada que satisfaga las necesidades requeridas, adaptados a un sector muy dinámico, en continua evolución, con diferentes agentes que intervienen en el sector, diferentes perfiles de usuario final, con necesidades técnicas y económicas cambiantes, una demanda creciente de ancho de banda, de soluciones robustas y, a la vez, económicas, una gran y creciente variedad de dispositivos, y una gran diversidad de tecnologías de acceso actuales y futuras.

Como ya se ha adelantado en el apartado anterior, surge la necesidad de extender y redefinir el concepto tradicional de modelo técnico-económico de la literatura enunciado por Smura [SMU12], de manera que se subraye la evaluación de la viabilidad técnica, frente a los procesos actuales de toma de decisiones basados en criterios puramente económicos. Según lo ya mencionado en el apartado 1.1, [KAN10] sugiere la evaluación de la viabilidad técnica, pero finalmente no la desarrolla. El autor se propone desarrollarla en el presente trabajo de investigación, proponiendo un modelo técnico-económico universal y generalizable de evaluación de tecnologías de acceso. Un modelo técnico-económico universal que permita tener en cuenta la variabilidad de tecnologías de acceso, usuarios y agentes del sector, y generalizable a futuro, de tal manera que permita contemplar tecnologías actuales y futuras, integrando las perspectivas de los diferentes agentes actuales y futuros del sector.

Por tanto, se definirán, de manera coherente con la redefinición mencionada, las características de un modelo técnico-económico teórico universal, escalable, flexible y generalizable, que permita contemplar todos los aspectos de contexto mencionados, y satisfacer todas las necesidades, permitiendo integrar y dar servicio a todas las perspectivas.

Se realizará un estudio de los modelos técnico-económicos de la literatura, clasificándolos en base a las características del modelo técnico-económico teórico, identificando su grado de cumplimiento y el recorrido de mejora existente.

A partir de dicho recorrido de mejora, se realizará una nueva propuesta de modelo técnico-económico que presente mayor grado de cumplimiento que los modelos de la literatura.

En consecuencia, el doble objetivo principal de la presente investigación es el siguiente:

- 1) Definir un modelo técnico-económico de aplicación universal, escalable, flexible y generalizable que permita la evaluación y comparación de múltiples tecnologías de acceso en diferentes escenarios.
- 2) Desarrollar una metodología de aplicación del modelo técnico-económico para facilitar su uso por parte de los diferentes agentes del mercado, proporcionando pautas para el diseño de escenarios, la aplicación del modelo y la adecuada interpretación de los resultados obtenidos.

Los objetivos secundarios de la presente tesis doctoral derivados del doble objetivo anterior son los siguientes:

- Redefinir el concepto de análisis técnico-económico de manera que subraye la evaluación de la viabilidad técnica frente a los procesos actuales de toma de decisiones basados en criterios puramente económicos.
- Definir las características de un modelo técnico-económico teórico universal.
- Elaborar una clasificación de los modelos técnico-económicos de la literatura en base a dichas características.
- Posibilitar la caracterización técnica y económica de cualquier tecnología de acceso en cualquier configuración o combinación de elementos serie o paralelo.
- Definir métricas específicas de prestaciones y eficiencia técnicas y/o económicas de las tecnologías de acceso que permitan su evaluación y comparación técnico-económica.
- Identificar el grado de cumplimiento de los requisitos de cliente técnicos y/o económicos establecidos por el usuario del modelo para cada tecnología.
- Identificar el número mínimo de accesos redundantes que permite que una tecnología de acceso dada cumpla los requisitos de cliente técnicos y/o económicos
- Permitir la evaluación técnico-económica de accesos redundantes y combinaciones en paralelo de idéntica o diferente tecnología de acceso
- Predecir comportamientos y tendencias en las tecnologías de acceso, dado el dinamismo del mercado y la tecnología.
- Permitir la evaluación técnico-económica de tecnologías de acceso en aproximaciones ‘top-down’ (desde la perspectiva de despliegue) y ‘bottom-up’ (desde la perspectiva del cliente o usuario final).
- Permitir la comparación entre cualesquiera tecnologías de acceso.

Motivada por el nicho de investigación identificado y expuesto, la pregunta o problema de investigación de la presente tesis doctoral se enuncia de la siguiente manera:

“¿Es posible definir modelos técnico-económicos de aplicación universal, escalables, flexibles y generalizables que permitan comparar cualesquiera tecnologías de acceso a fin de ayudar a la toma de decisiones de los diferentes agentes del mercado?”

La presente tesis doctoral propone, define y desarrolla un nuevo modelo denominado UTEM (Universal Techno-Economic Model: Modelo Técnico-Económico Universal) y una metodología de aplicación del mismo, con el fin de dar respuesta a la pregunta de investigación planteada y cumplir los objetivos propuestos.

1.3 Estructura de la tesis

En la Figura 1.1 se muestra la estructura de la presente tesis doctoral.

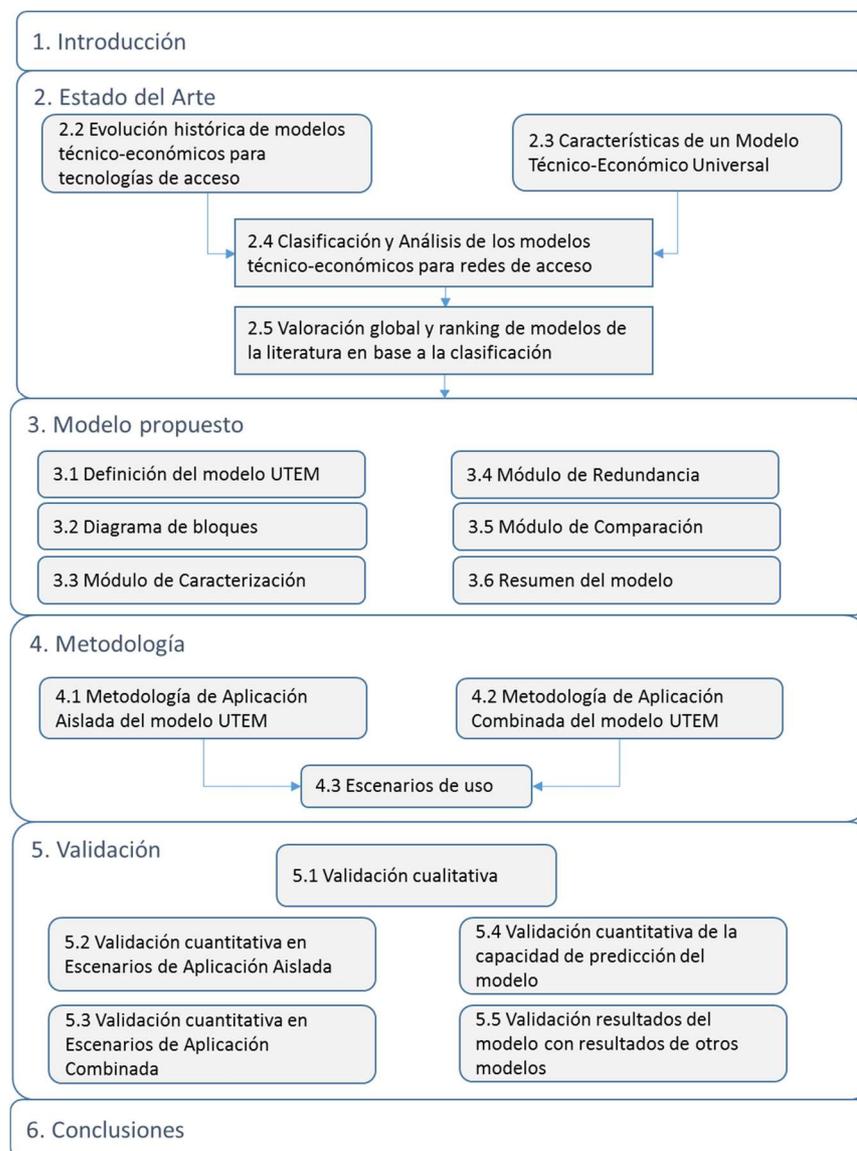


Figura 1.1: Estructura de la tesis

El desarrollo de la presente tesis doctoral se estructura tras el presente Capítulo 1 de Introducción, en el Capítulo 2 de Estado del Arte en que se presenta una Evolución histórica de modelos técnico-económicos de tecnologías de acceso en la literatura, tras lo cual se establecen y definen las Características de un Modelo Técnico-Económico Universal teórico para tecnologías de acceso. Se prosigue con una Clasificación y Análisis de modelos técnico-económicos de la literatura, en base a dichas características. Finalmente, se muestra la Valoración global y el ranking de modelos de la literatura en base a dicha clasificación.

A continuación, se presenta el Capítulo 3, en el que se define y desarrolla el Modelo propuesto (denominado Modelo UTEM: Universal Techno-Economic Model) con su definición, diagrama de bloques, descripción de los módulos que lo componen, y un resumen del modelo.

En el Capítulo 4, se muestra la Metodología de aplicación del modelo en sus dos vertientes de Aplicación Aislada y aplicación Combinada o integrada con otros modelos, así como los escenarios de uso.

En el Capítulo 5 de Validación se presenta la validación cualitativa del modelo propuesto en base a las Características de un Modelo Técnico-Económico Universal teórico establecidas en el Estado del Arte, la validación cuantitativa en escenarios de aplicación aislada y en escenarios de aplicación combinada, finalizando con la validación cuantitativa de la capacidad de predicción del modelo con los resultados de una firma de análisis.

Finalmente, se exponen en el Capítulo 6, las Conclusiones de la presente tesis doctoral.

1.4 Conclusiones

Fruto del presente trabajo de investigación, se esperan las siguientes aportaciones a la literatura:

- Redefinir el concepto de modelo técnico-económico más allá del alcance tradicional, incluyendo y subrayando la necesidad de realizar la evaluación de la viabilidad técnica.
- Definir las características de un modelo técnico-económico universal, flexible, generalizable y escalable para tecnologías de acceso.
- Presentar una clasificación de los modelos técnico-económicos de la literatura en base a las características de un modelo técnico-económico teórico.
- Definir y desarrollar un modelo de evaluación técnico-económica de tecnologías de acceso, universal, generalizable, escalable y flexible, que presente un mayor grado de cumplimiento que los modelos de la literatura respecto a las características del modelo teórico, y cuya capacidad de evaluación global técnica y económica sea coherente con la redefinición mencionada.
- Se espera que el modelo propuesto UTEM pueda aplicarse de manera combinada con otros modelos, a los cuales aporte la caracterización técnica de la tecnología de acceso en estudio, el número mínimo de accesos redundantes para el cumplimiento de los requisitos de cliente, así como la posibilidad de elegir la

tecnología más adecuada en base a indicadores de prestaciones y eficiencia técnico-económicas.

- Se espera que la capacidad de evaluación global técnica y económica del modelo UTEM, permita validar la redefinición del concepto de análisis técnico-económico más allá de la mera evaluación económica de sistemas técnicos complejos, añadiendo y haciendo énfasis en la evaluación técnica. Que permita evaluar cualesquiera tecnologías de acceso, no sólo desde el punto de vista del despliegue por parte de un operador, sino también desde otros ángulos, permitiendo que un cliente pueda tomar decisiones, o que un organismo regulador pueda definir políticas en el ámbito de la red de acceso, etc. Se espera, por tanto, que el modelo UTEM permita contemplar las perspectivas de cualquier cliente, usuario final o agente del sector, en la actualidad y en el futuro.

Página dejada intencionadamente en blanco

Capítulo 2

ESTADO DEL ARTE: Clasificación y Análisis de los modelos técnico-económicos para redes de acceso

2.1 Introducción

En la literatura se encuentran diferentes modelos técnico-económicos orientados fundamentalmente a la toma de decisiones respecto al despliegue de redes de acceso por parte de los operadores de telecomunicaciones. Dado que la tecnología evoluciona con agilidad y la tipología de agentes involucrados en el mercado de las telecomunicaciones es variada, merece la pena investigar el estado del arte y realizar aportaciones de cara a proponer un modelo técnico-económico generalizable que proporcione mayor universalidad en su aplicación.

En el presente capítulo de Estado del Arte, en base al objetivo principal de la tesis, se presenta:

- en el apartado 2.2 la evolución histórica de modelos técnico-económicos para redes de acceso en la literatura y de proyectos con financiación pública relacionados.
- en el apartado 2.3 se establecen las características de un modelo técnico-económico universal, escalable, flexible y generalizable para tecnologías de acceso.
- en el apartado 2.4 se elabora una clasificación y análisis de modelos técnico-económicos de la literatura, en base a las características del modelo técnico-económico teórico expuestas en el apartado 2.2.
- en el apartado 2.5 se realiza una valoración global y se presenta un ranking de modelos técnico-económicos de la literatura en base a dicha clasificación.
- en el apartado 2.6 se concluye que tiene sentido profundizar e investigar en el desarrollo de modelos de evaluación técnico-económica de tecnologías de acceso, que alcancen un cumplimiento mayor que los modelos de la literatura, acercándose por tanto al modelo técnico-económico teórico cuyas características se exponen en el apartado 2.3.

Tanto la definición de las características de un modelo técnico-económico universal para tecnologías de acceso, como la clasificación y análisis mencionados, así como la valoración global y ranking que se presentan, son fruto de la revisión y análisis pormenorizado de la literatura, respaldada por la experiencia profesional del autor como ingeniero de telecomunicación en el diseño de soluciones innovadoras en el ámbito de las redes de acceso para diferentes agentes del sector de telecomunicaciones.

2.2 Evolución histórica de modelos técnico-económicos para tecnologías de acceso

Los modelos técnico-económicos de la literatura se basan en la definición tradicional de modelo técnico-económico como “*método de evaluación de la viabilidad económica de sistemas técnicos complejos*”, según la tesis doctoral de Smura [SMU12], como ya se ha adelantado en el capítulo introductorio.

Respecto al origen de la modelización técnico-económica, Smura escribe lo siguiente [SMU12]:

“La naturaleza de la modelización y análisis técnico-económicos está habitualmente orientada a futuro, utiliza y combina una serie de métodos procedentes del campo del Análisis de Tecnología Orientado a Futuro (FTA: Future-oriented Technology Analysis). Entre esos métodos se encuentra el análisis coste-beneficio, análisis de escenarios, de tendencias, paneles de expertos y modelización cuantitativa (para una lista exhaustiva de otras familias y métodos FTA, véase TFAMWG, 2004, y [Scapolo & Porter, 2008, p. 152]). Aunque estos métodos y sus combinaciones han sido ampliamente utilizados tanto por académicos como por profesionales, la obra académica bajo el término “tecnico-económico” (ej.: modelización, análisis, evaluación, valoración) ha sido principalmente publicada relacionada con la energía (ej.: [Zoulias & Lymberopoulos 2006]), la biotecnología (ej.: [Hamelinck et al. 2005]) y las telecomunicaciones (ej.: [OLS96]) especialmente por grupos de investigación europeos.

En el ámbito de las telecomunicaciones, el término ‘técnico-económico’ fue introducido durante el programa de investigación europeo (RACE) (Research into Advanced Communications for Europe: Investigación en Comunicaciones Avanzadas para Europa) en el período 1985-1995. El primer trabajo de modelización tecno-económica fue realizado en el proyecto RACE 1044 ATMOSPHERIC [GRA90][FIS90][FOX90] y en el proyecto RACE 1044 [MAG93] en que se analizaron diferentes escenarios y alternativas de evolución hacia sistemas de banda ancha. Posteriormente, el proyecto RACE 2087 TITAN (Tool for Introduction scenarios and Techno-economic studies for the Access Network: Herramienta para escenarios de Introducción y estudios tecno-económicos para la Red de Acceso) desarrolló una metodología y una herramienta para la evaluación tecno-económica de nuevos servicios de banda estrecha, banda ancha y redes de acceso (véase [OLS96][IMS97]). Desde finales de los años 90, muchos proyectos de investigación europeos han utilizado y extendido las metodologías y herramientas creadas en estos primeros proyectos”.

Como se avanzaba en el capítulo introductorio, cabe señalar la siguiente excepción encontrada en la literatura a la definición tradicional de modelo técnico-económico señalada por Smura en el año 2012. En el año 2010, [KAN10] afirma: “*Toda modelización de negocio debería acompañarse de una evaluación técnico-económica de cara a proporcionar al lector información sobre la perspectiva financiera y la viabilidad técnica de un proyecto de inversión en telecomunicaciones*”, tras introducir

la necesidad de realizar un análisis de rendimiento de la red de acceso, en el que se considere la relación entre el coste y la fiabilidad de la red, limitándose a relacionar ambos aspectos: coste y fiabilidad, en un indicador o figura de mérito específica. [KAN10] sugiere la evaluación de la viabilidad técnica, pero finalmente no la desarrolla.

Tras una revisión y análisis pormenorizado de los modelos de la literatura, se encuentra que se hallan imbuidos por la definición tradicional de modelo técnico-económico señalada por Smura [SMU12], y están eminentemente orientados al despliegue de tecnologías de acceso desde la perspectiva de los operadores, fabricantes y organismos de estandarización. Se une además que sólo algunos modelos presentan capacidad de evaluación de diferentes tecnologías de acceso, y unos pocos de combinación de tecnologías. Sólo en algún modelo se ha detectado un ligero atisbo de orientación a usuario final o a otros agentes diferentes de los mencionados. Además, se añade que todos sus parámetros de salida son económicos, salvo algún guiño muy excepcional.

Por tanto, la revisión y análisis de la literatura, la existencia de una gran variedad de escenarios y tecnologías de acceso, la carestía de las inversiones y mantenimiento de la red de acceso, el volumen significativo de producción científica al respecto, el interés de las instituciones de la UE demostrado por la financiación pública de los proyectos que impulsan y utilizan la modelización técnico-económica, y todos los aspectos de contexto planteados en el capítulo introductorio, llevan a concluir que interesa profundizar y sentar las bases respecto a las características que debe tener un modelo teórico universal y generalizable de evaluación técnico-económica de tecnologías de acceso, de cara a elaborar una clasificación específica y detectar con mayor precisión las áreas de mejora de los modelos técnico-económicos de la literatura.

A continuación, se procede a mostrar la revisión y análisis de la literatura de modelización tecno-económica de tecnologías de acceso, así como la cronología de proyectos relacionados con financiación pública, dado el interés en este área de investigación demostrado por las instituciones de la Unión Europea (UE).

2.2.1 Revisión y análisis de la literatura

Se ha revisado y analizado la literatura de modelos de evaluación técnico-económica para tecnologías de acceso, hallando que se basa en el mencionado concepto tradicional de modelo técnico-económico enunciado por Smura [SMU12], con la sugerencia excepcional ya indicada, y no desarrollada [KAN10].

Se ha seleccionado una muestra representativa de los artículos más relevantes de la literatura, que permiten proporcionar una visión sobre el Estado del Arte de los modelos técnico-económicos para tecnologías de acceso. Se relacionan dichos artículos a continuación en la Tabla 2.1.

Autor, año	Título	Modelo Tecnológico	Tecnologías de acceso	Programa de investigación	Origen
Reed & Sirbu (1989) [REE89]	'An Optimal Investment Strategy Model for Fiber to the Home'	Programación dinámica	FTTH	BELL (beca)	EEUU
Lu et al. (1990) [LEL90]	'System and Cost Analyses of Broad-band Fiber Loop Architectures'	Modelización de Costes	B-ISDN, 4 arquitecturas alternativas para bucle de fibra (fiber loop) (ADS, PPL, HPPL, PON)	BELLCORE	EEUU
Graff et al. (1990) [GRA90]	'Techno-Economic Evaluation of the Transition to Broadband Networks'	STEM	Evolución de STM hacia ATM	RACE I	Europa
Ims et al. (1996) [IMS96]	'Multiservice Access Network Upgrading in Europe: A Techno-Economic Analysis'	TITAN	xDSL, FTTx, HFC, FTTH (PON)	EURESCOM	Europa
Olsen et al. (1996) [OLS96]	'Techno-Economic Evaluation of Narrowband and Broadband Access Network Alternatives and Evolution Scenario Assessment'	TITAN	ADSL, PON, CATV, ISDN, FTTx, HFC	RACE II	Europa
Ims et al. (1997) [ISO97]	'Risk Analysis of Residential Broadband upgrade in a Competitive and Changing Market'	TITAN	xDSL, HFC, ATM PON	RACE II	Europa
Stordahl et al. (1998) [SIO98]	'Risk Analysis of Residential Broadband upgrade based on Market Evolution and Competition'	OPTIMUM (basado en TITAN)	FTTN, FTTB, HFC	ACTS	Europa
Jankovic et al. (2000) [JAN00]	'A Techno-Economic Study of Broadband Access Network Implementation Models'	P614	ISDN, xDSL, HFC, FTTx, WLL, Satélite	EURESCOM	Europa
Katsianis et al. (2001) [KAT01]	'The Financial Perspective of the Mobile Networks in Europe'	TERA	GPRS, UMTS	ACTS	Europa
Welling et al. (2003) [WEL03]	'Techno-Economic Evaluation of 3G & WLAN Business Case Feasibility Under Varying Conditions'	TONIC	UMTS, WLAN	EU FP5	Europa
Smura (2005) [SMU05]	'Competitive Potential of WiMAX in the Broadband Access Market: A Techno-Economic Analysis'	basado en ECOSYS/TONIC	WiMAX	EUREKA/CELTIC	Europa
Monath et al. (2005) [MON05]	'MUSE- Techno-economics for fixed access network evolution scenarios - DA3.2p'	MUSE	FTTx, ADSL, SHDSL, VDSL, xDSL over Optics	EU FP6	Europa
Sananes et al. (2005) [SAN05]	'Techno-Economic Comparison of Optical Access Networks'	e-Photon/One	FTTH	EU FP6	Europa

Lahteenoja et al. (2006) [LAH06]	'ECOSYS "techno-ECONomics of integrated communication SYStems and services". Deliverable 16: "Report on techno-economic methology"'	ECOSYS	ISDN, B-ISDN (FITL), xDSL, HFC, FTTx, WLL, Satellite, WiMAX	CELTIC	Europa
Olsen et al. (2006) [OLS06]	'Technoeconomic Evaluation of the Major Telecommunication Investment Options for European Players'	ECOSYS/TONIC	HFC, ADSL, VDSL, LMDS, Satélite, 3G, WLAN, FTTC, FTTH,	EUREKA/CELTIC, IST	Europa
Pereira (2007) [PER07]	'A Cost Model for Broadband Access Networks: FTTx versus WiMAX'	Propietario (BATET)	FTTx, WiMAX		Portugal
Chowdhury et al. (2008) [CHO08]	'Comparative Cost Study of Broadband Access Technologies'	Propietario	xDSL, Cable Módem, FTTx, WiFi, Hybrid FTTx + WiFi, Hybrid FTTx + WiMAX (WOBAN)		EEUU
Pereira & Ferreira (2009) [PF09]	'Access Networks for Mobility: A Techno-Economic Model for Broadband Access Technologies'	Propietario (BATET)	Capa Estática: FTTH (PON), xDSL, HFC, PLC; Capa Nomádica (usuarios en movilidad): WiMAX		Portugal
Van der Merwe et al. (2009) [MER09]	'A Model-based Techno-Economic Comparison of Optical Access Technologies'	Propietario	Redes ópticas FTTH: GPON, AON/Active Ethernet (AE), P2P		Alemania
Ödling et al. (2009) [ODL09]	'The Fourth Generation Broadband Concept'	ECOSYS	FTTdp (G.fast)	CELTIC-4GBB	Europa
Ghazisaidi & Maier (2009) [GHA09]	'Fiber-Wireless (FiWi) Networks: A Comparative Techno-Economic Analysis of EPON and WiMAX'	Propietario	FTTH + WiMAX		Canadá
Verbrugge et al. (2009) [VER09]	'White Paper: Practical Steps in Techno-Economic Evaluation of Network Deployment Planning'	OASE	FTTH	EU FP7	Europa
Casier et al. (2010) [CAS10]	'"Overview of Methods and Tools" Deliverable 5.1. OASE'	OASE	FTTH	EU FP7	Europa
Zagar & Krizanovic (2010) [ZAG10]	'Analyses and Comparisons of Technologies for Rural Broadband Implementation'	Propietario (Banda Ancha rural en Croacia)	ADSL, WiMAX	Gobierno de Croacia	Croacia
Vergara et al. (2010) [VER10]	'COSTA: A Model to Analyze Next Generation Broadband Access Platform Competition'	COSTA (basado en BREAD & TONIC & MUSE)	FTTH/GPON, FTTN/VDSL, FTTH/P2P, HFC/Docsis, WiMAX, LTE		España

Chatzi et al. (2010) [CHA10a]	'Techno-economic Comparison of Current and Next generation Long Reach Optical Access Networks'	BONE	FTTH con fibras duplicadas para fiabilidad y FTTH con anillo WDM/TDM PON (arquitectura SARDANA)	STREP-SARDANA ICT-BONE (EU FP7)	Europa
Rokkas et al. (2010) [ROK10]	'Techno-economic Evaluation of FTTC/VDSL and FTTH Roll-Out Scenarios: Discounted Cash Flows and Real Option Valuation'	ECOSYS	FTTC/VDSL y FTTH	Gobierno de Grecia	Grecia
Casier et al. (2011) [CVM11]	'Techno-economic Study of Optical Networks'	OASE	FTTH	EU FP7	Europa
Feijóo et al. (2011) [FEI11]	'An Analysis of Next Generation Access Networks Deployment in Rural Areas'	Propietario (Modelo de costes)	FTTH (GPON), FTTC/FTTB/VDSL, HFC DOCSIS 3.0, LTE (4G)		España
Martín et al. (2011) [MCF11]	'Which could be the role of Hybrid Fiber Coax in Next Generation Access Networks?'	Propietario (Modelo de costes)	FTTH (GPON), HFC DOCSIS 3.0		España
Machuca et al. (2012) [MAC12]	'Cost-based assessment of NGOA architectures and its impact in the business model'	OASE	Wavelength-routed WDM PON, Ultra Dense WDM, PON, AON con WDM	EU FP7	Europa
Van der Wee et al. (2012) [WEE12]	'A modular and hierarchically structured techno-economic model for FTTH deployments'	OASE	FTTH (PON), FTTH (AON)	EU FP7	Europa
Walcyk & Gravey (2012) [WG12]	'Techno-Economic Comparison of Next-Generation Access Networks for the French Market'	BONE	xDSL, FTTH (GPON), FTTH (LROA-SARDANA)		Europa
Pecur (2013) [PEC13]	'Techno-Economic Analysis of Long Tailed Hybrid Fixed-Wireless Access'	Propietario	FiWi (Fixed-Wireless); Fixed: xDSL, FTTx, FSO; Wireless: WiFi, WiMAX, LTE (4G)		Arabia Saudí
Bock et al. (2014) [BOC14]	'Techno-Economics and Performance of Convergent Radio and Fibre Architectures'	TITAN cost analysis	Active Remote Node de FTTH combinando PON + Radio Base Station (arquitectura SODALES)	EU FP7	Europa
Moreira & Zucchi (2014) [MZ14]	'Techno-economic evaluation of wireless access technologies for campi network environments'	TONIC & ECOSYS	WiFi, WiMAX, LTE		Brasil
Ruffini et al. (2014) [RUF14]	'DISCUS: An End-to-End Solution for Ubiquitous Broadband Optical Access'	OASE	FTTP	EU FP7	Europa

Katsianis & Smura (2015) [KS15]	'A cost model for radio access data networks'	Propietario	LTE		Finlandia
Forzati et al. (2015) [FOR15]	'Next-Generation Optical Access Seamless Evolution: Concluding Results of the European FP7 Project OASE'	OASE	FTTH	EU FP7	Europa
Van der Wee et al. (2015) [WEE15]	'Techno-economic Evaluation of Open Access on FTTH Networks'	OASE	FTTH	EU-FP7	Europa

Tabla 2.1 Artículos que desarrollan o utilizan modelos de evaluación tecno-económica

De la revisión de la literatura, se comprueba que existe un germen americano en el ámbito de modelización tecno-económica en el ámbito de las redes de acceso, a finales de los años 80 y comienzos de los 90. En concreto, en el año 1989, ya se publicaron predicciones respecto al momento más adecuado para invertir masivamente en el despliegue de tecnología de acceso FTTH (Fiber To The Home: Fibra Hasta el Hogar), utilizando Programación Dinámica [REE89], identificando los posibles caminos de inversión desde una red de acceso pura de cobre hasta una red FTTH pasando por redes híbridas, concluyendo que el momento óptimo para iniciar un despliegue masivo no sería antes del año 2010, contemplando predicción de costes, ingresos y tipos de interés. En los años 90 y partiendo de [LEL90] y [GRA90], los estudios comienzan a focalizarse, como bien comentaba Smura en su tesis doctoral [SMU12], en el análisis detallado de costes, partiendo de los componentes, con una aproximación 'bottom-up', pero ignorando la perspectiva del usuario final, y siempre orientados al despliegue de redes de acceso, con el fin de poder comparar la viabilidad económica de las diferentes alternativas técnicas e identificar las partes de la red de acceso que presentan mayor contribución a los costes, contemplando diferentes escenarios de evolución de la red de acceso, así como de los patrones de evolución de la demanda. Llama la atención que en EEUU seguían contemplando los escenarios de FTTH [LEL90] partiendo de la RDSI de Banda Estrecha (Red Digital de Servicios Integrados o N-ISDN) hacia la RDSI de Banda Ancha (B-ISDN: Broadband ISDN), con foco en el mencionado análisis detallado de costes y utilizando curvas de aprendizaje para la predicción de los costes de los componentes [LWG88].

En los años 90, germina también la modelización tecno-económica para redes de acceso en Europa, con los primeros proyectos europeos con financiación pública de la UE (Unión Europea), concentrados igualmente en la evaluación de los costes y orientados hacia la evaluación de alternativas técnicas de despliegue y evolución de las redes. Destacan en esta germinación europea el modelo STEM [GRA90] por ser el precursor de un modelo más completo, TITAN [IMS96][ISO97], que incluye un modelo de predicción de costes basado en la denominada curva de aprendizaje extendida [OLS96], la cual dota de una mayor precisión predictiva a los modelos sucesivos como OPTIMUM [SIO98] y sientan las bases hacia modelos más completos como TONIC [WEL03][MON03], todos ellos basados en evoluciones

fundamentalmente de TITAN y siempre orientados hacia la elección de la alternativa de despliegue más adecuada por parte de los operadores, con el objetivo también de impulsar estándares y recomendaciones.

La etapa de desarrollo de modelos técnico-económicos más completos, iniciada e inspirada en TITAN, comienza su consolidación con el modelo ECOSYS [SMU05][ELN05], que incorpora a la modelización tecno-económica tradicional basada en el cálculo de indicadores económicos como el NPV (Net Present Value) o VAN (Valor Actual Neto), con el análisis DCF (Discounted Cash Flows: Flujos de Caja Depreciados contemplando el tipo de interés), un análisis ROA (Real Options Analysis) inspirado en las opciones o futuros financieros, de cara a incrementar la precisión de los parámetros económicos de salida, y permite la evaluación técnico-económica de tecnologías fijas, inalámbricas, y mixtas o híbridas, en diferentes escenarios y áreas geográficas a cubrir [LAH06][OLS06][AUT07]

Fruto de esa consolidación mencionada con el modelo ECOSYS se produce un efecto de divulgación o diseminación más allá de los proyectos con financiación pública de la UE, que se detecta al identificar nuevos modelos propietarios como el modelo [TON04] para tecnología PLC (Power Line Communications), [TRA05] para redes ópticas, [HOI07] para 3G-LTE, el modelo BATET [PP07][PER07], y su posterior evolución distinguiendo entre capa fija y nomádica, esta última para usuarios en movilidad [PF09], e identificando además parámetros de entrada generales en los que existe un atisbo de orientación a usuario final, incorporando requisitos de ancho de banda de emisión y de recepción. Surge también al margen de la financiación pública de la UE, el modelo propietario COSTA [VER10] de modelización de costes de la red de acceso y basado en MUSE, extensión de TONIC para el conjunto de la red de acceso y agregación [MON05], que se desarrolla en paralelo al proyecto ECOSYS. Aparecen más modelos propietarios como [MER09] orientado a la comparación de tecnologías de acceso ópticas, [CHO08], [GHA09] orientados a redes híbridas que combinan FTTx y WiFi o WiMAX.

Continúa la consolidación y diseminación, se publican múltiples trabajos con orientación a escenarios específicos que se apoyan en el modelo ECOSYS como [ODL09] orientado a FTTdp (Fiber To The Distribution Point: Fibra Hasta el Punto de Distribución) en el marco de la iniciativa 4GBB que desemboca en el actual estándar G.fast [ROK10].

Surge el proyecto BONE, orientado a una futura red óptica europea, que incorpora modelización de costes para redes ópticas del ámbito de acceso / metro, buscando arquitecturas de redes ópticas de largo alcance que proporcionen elevada fiabilidad [CHA10a][CHA10b][TOM11][WG12]. En el marco del proyecto BONE se publica el artículo mencionado al comienzo del presente Capítulo Estado del Arte [KAN10], en el que se sugiere la evaluación de la viabilidad técnica, tras introducir la necesidad de realizar un análisis de rendimiento de la red de acceso/metro, en el que se considere la relación entre el coste y la fiabilidad de la red. [KAN10] finalmente no desarrolla dicha evaluación de la viabilidad técnica, y sólo se limita a relacionar coste y fiabilidad, en un indicador o figura de mérito específica, de cara a evaluar las diferentes alternativas técnicas de redes ópticas de largo alcance con diferentes mecanismos para incrementar la fiabilidad (ejemplo: duplicidad de fibras, duplicidad de fibras y OLTs, duplicidad de fibras-OLTs-ONUs).

De la mano de la financiación pública, emerge el proyecto OASE [VER09], que propone una metodología basada en el ciclo Plan-Do-Check-Act (PDCA) de Shewhart / Deming (Planea, Ejecuta, Verifica, Actúa), y la adapta como Scope-Model-Evaluate-Refine (Visualiza, Modela, Evalúa y Refina), así como un diseño modular de modelización tecno-económica que integra modelos y métodos auxiliares [CAS10] alrededor de TONIC como herramienta marco ('framework tool'). OASE amplía la visión desde ECOSYS, concibiendo un marco modular de modelización tecno-económica con la metodología mencionada, posibilitando aproximaciones top-down y bottom-up, en la evaluación técnico-económica de redes de acceso ópticas, convirtiéndose en un modelo de relevancia en dicho campo [CAS09][CVM11][HAV11][KAT11][MAC11][MAC12][WEE12][BAT12][KAT13][ROM14][ZUK14][FOR15][WEE14][WEE15]. El modelo OASE es utilizado por otros proyectos europeos en el ámbito de las redes ópticas, como DISCUS [RUF14].

Fruto del efecto de diseminación mencionado, surgen más modelos propietarios como [LOP09], [RIC12], [BOZ12], [TS13] y [SIL13] para redes ópticas, [ZAG10], [VID10], [KRI10], [KRI11], [FEI11], [DRA12] y [KRI12] para despliegue de Banda Ancha en zonas rurales, [MCF11] que compara FTTH y HFC DOCSIS 3.0, [PEC13] para redes híbridas FiWi (Fixed-Wireless), que como particularidad, distingue entre inversores y prestamistas en cuanto a los agentes financieros. [KS15] para despliegue de redes LTE en Finlandia, modela el consumo energético de las redes de datos de acceso radio en función del tráfico de datos, [KAN13] para despliegue de puntos de acceso inalámbricos. Así también, se publican estudios basados en los modelos TONIC y ECOSYS para escenarios específicos (ejemplo: redes inalámbricas en campus) [MZ14], así como surgen proyectos con financiación pública de la UE, que se apoyan en esas herramientas consolidadas, de cara a verificar nuevas tecnologías, como por ejemplo, el proyecto IST-SODALES que desarrolla un Active Remote Node de FTTH combinando PON + Radio Base Station (arquitectura SODALES) y la evalúa tecno-económicamente utilizando la herramienta TITAN [BOC14].

Según lo expuesto, tal y como se ha adelantado al introducir el presente apartado, los modelos de la literatura se apoyan en la definición tradicional de modelo técnico-económico señalada por Smura [SMU12], y están orientados fundamentalmente al despliegue de las tecnologías de acceso desde las perspectivas de los operadores, fabricantes y organismos de estandarización.

Dada la limitación de características que se detecta en la literatura en cuanto a la capacidad de comparación multiacceso, de combinación de tecnologías, de orientación a usuario final o al resto de agentes del sector de telecomunicaciones, el dinamismo del mercado, y el contexto ya mencionado en el capítulo introductorio, se concluye que interesa profundizar en las características que debe tener un modelo técnico-económico teórico, universal y generalizable para tecnologías de acceso, las cuales se expondrán en el apartado 2.2 del presente Capítulo.

2.2.2 Cronología de proyectos con financiación pública

En el ámbito europeo, desde las instituciones públicas de la Unión Europea, se han impulsado y financiado diferentes proyectos en las dos últimas décadas, orientados al desarrollo de modelos de evaluación técnico-económica de tecnologías de acceso

desde los pioneros RACE 1014 ATMOSPHERIC, RACE 1028 REVOLVE, RACE 1044 IBC, RACE 2087 TITAN, AC226 OPTIMUM, AC364 TERA, IST-25172 TONIC, pasando por los proyectos EURESCOM, MUSE, BREAD, ECOSYS, OASE, etc.[GRA90][FIS90][BOC93][LAH06][VER06][FRA07][SMU12].

Los proyectos con financiación pública anteriormente mencionados dan lugar a gran parte de la literatura, como se puede comprobar en la Tabla 2.1, ya que muchos de los modelos técnico-económicos llevan la denominación del proyecto que los define. Surgen también otros proyectos con financiación pública y objetivos diferentes, por ejemplo, relacionados con las redes de agregación o incluso redes troncales, que utilizan y se apoyan en modelos técnico-económicos ya desarrollados por proyectos previos o paralelos [DIS13][RUF14][BOC14].

Los escenarios de evaluación técnico-económica de los proyectos mencionados se encuentran íntimamente relacionados con la evolución de tecnologías de acceso. En la Figura 2.1 se muestra la evolución histórica de tecnologías de acceso, junto con la cronología de proyectos que desarrollan o utilizan modelos técnico-económicos, objeto de literatura al respecto, en publicaciones y conferencias relevantes.

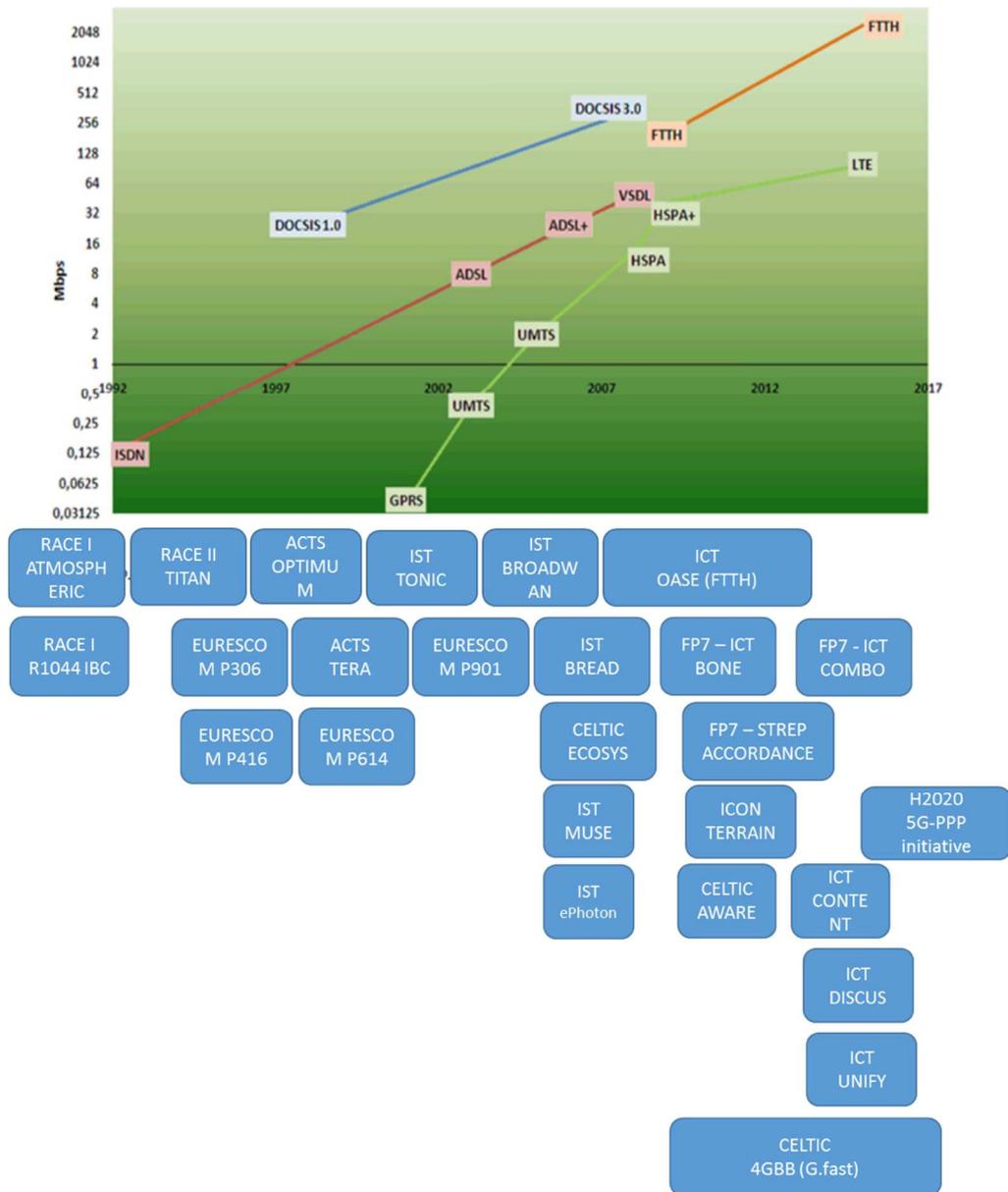


Figura 2.1: Evolución histórica de proyectos que desarrollan o utilizan modelos de evaluación técnico-económica para redes de acceso, junto con la evolución histórica de tecnologías de acceso. Fuente: ICP-ANACOM, European Commission (ec.europa.eu) y websites de cada proyecto.

A continuación se presenta una breve descripción de los proyectos mencionados, indicando el modelo o modelos técnico-económicos que utilizan, e incluyendo una breve descripción de aquellos modelos de mayor relevancia:

- (1988-1991) Dentro del programa europeo RACE (Research into Advanced Communications-Technologies for Europe: Investigación en Tecnologías Avanzadas de Comunicación para Europa), el proyecto pionero RACE 1044 IBC desarrolló un modelo tecno-económico denominado SYNTHESIS, que incluía un modelo geométrico sencillo para redes de acceso a fin de calcular las longitudes de cableado y conductos, un modelo de cálculo de inversiones

(CapEx), y un modelo de costes que tenía en cuenta la depreciación a fin de calcular su Valor Actual (Present Value), y no consideraba los ingresos [GAR89][OLS09]. Los proyectos RACE 1014 ATMOSPHERIC y RACE 1028 REVOLVE, se apoyaron también en la primera herramienta marco (framework tool) de análisis técnico-económico en telecomunicaciones que se desarrolló en el marco del programa RACE I denominada Analysis STEM [GRA90]. Analysis STEM era una herramienta marco, dentro de la cual podían construirse y utilizarse modelos como, por ejemplo, el modelo geométrico de SYNTHESIS, para la comparación de la implantación de diferentes alternativas técnicas a lo largo del tiempo [GRA90]. El usuario introducía parámetros de demanda esperada, tipo de interés, costes de inversión y operación de equipos, depreciación de equipos, política de precios y de provisión, y proporcionaba indicadores económicos anualizados de Ingresos, Inversiones (CapEx), Costes de Operación (OpEx) y Flujo de Caja. En la Figura 2.2 se muestra el ciclo de cálculo básico anual de la herramienta STEM, en el que la demanda de los clientes es atendida por la instalación de equipos, cuyos costes alimentan el cálculo de las tarifas que influyen a su vez en la demanda [GRA90].

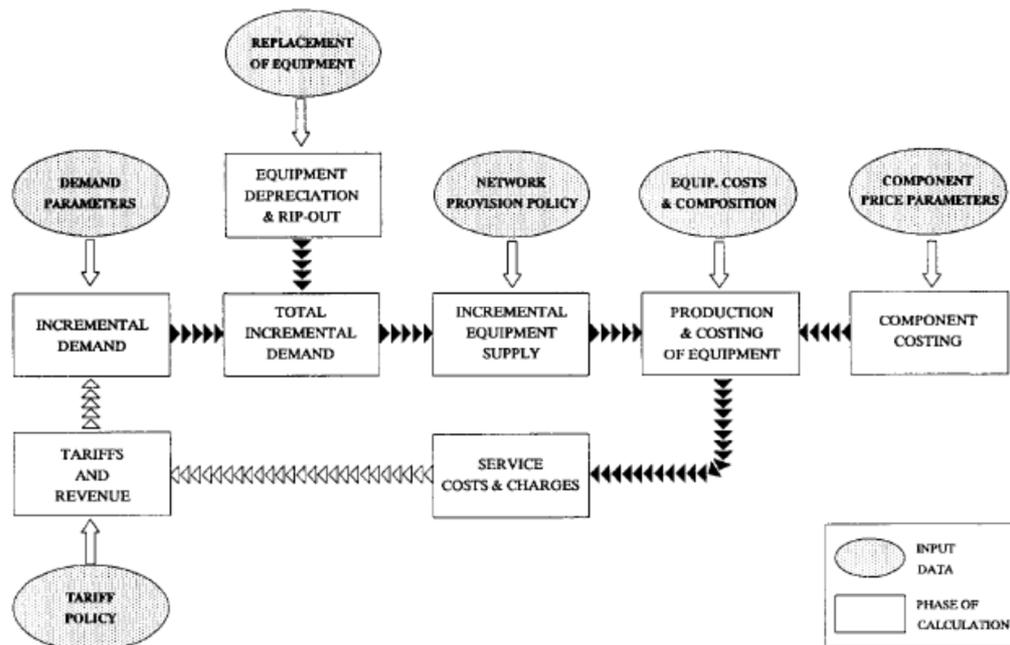


Figura 2.2: Ciclo de cálculo básico anual del modelo STEM [GRA90].

- (1990-1994) RACE 2087 TITAN [OLS96], [LAH06]: (Tool for Introduction scenarios and Techno-economic evaluation of Access Network: Herramienta para escenarios de Introducción y Evaluación Tecno-económica de la Red de Acceso). El objetivo principal del proyecto TITAN era desarrollar una metodología y una herramienta para la evaluación técnico-económica de alternativas para nuevos servicios de banda estrecha y banda ancha en el mercado residencial y de pequeña empresa. Estaba enmarcado en el programa RACE II (Research in Advanced Communications in Europe), cuyo principal objetivo era la introducción de las

comunicaciones de banda ancha integradas, representando el esfuerzo de la Comisión Europea para apoyar el I+D tecnológico precompetitivo en el área de telecomunicaciones durante el Tercer Programa Marco de investigación científica y desarrollo (FP3: Framework Programme 3). En la figura 2.3 se muestra la estructura general de la metodología y herramienta TITAN, orientada inicialmente a la evaluación de cualquier tipo de arquitectura de red de acceso (e.g.: star, bus, anillo, o combinaciones), así como a la incorporación de predicciones en cuanto a la demanda o penetración de servicios, en línea con el modelo STEM [GRA90]. La flexibilidad en cuanto al período de estudio permitía al usuario considerar la evolución de la red y los servicios. Siempre con un enfoque ‘top-down’ (desde la perspectiva de despliegue por parte del operador), se definía inicialmente la densidad de clientes del área a cubrir, a partir de la cual se aplicaban uno o más modelos geométricos, ejemplo: [GAR89], de cara a calcular la longitud de cableado. Los costes se obtenían de una base de datos de costes desarrollada en el proyecto, provenientes de diversas fuentes europeas, y utilizando curvas de aprendizaje extendidas [OLS96]. Añadiendo los costes OAM (Operación, Administración y Mantenimiento), se obtenían los costes globales. Los ingresos se obtenían fruto de las estimaciones resultado del método Delphi de encuesta o panel de expertos, unidas a la evolución de las tarifas de los servicios. TITAN proporcionaba indicadores económicos anualizados de Ingresos, Inversiones (CapEx), Costes de Operación (OpEx) y Flujo de Caja, así como el período de amortización (Payback Period) [OLS96][STOR98].

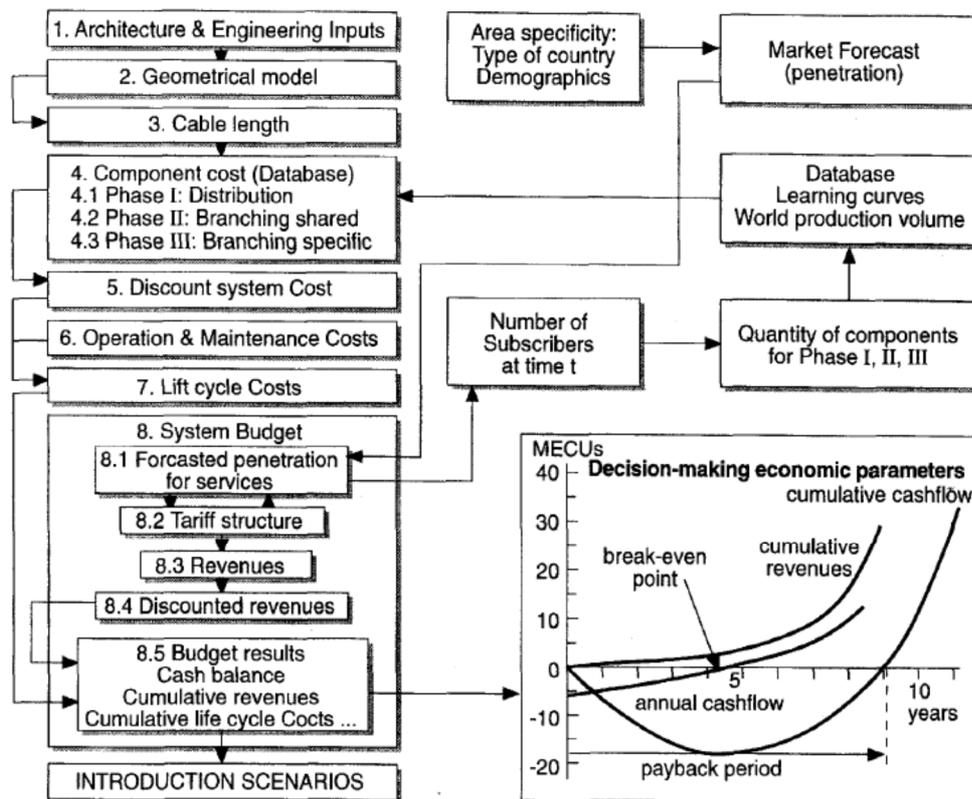


Figura 2.3: Estructura general de la metodología y herramienta TITAN [OLS96].

- (1993-1996) EURESCOM P306 (Access network evolution and preparation for implementation: Evolución de la red de acceso y preparación para su implementación). El proyecto EURESCOM P306 integrado por operadores de telecomunicación europeos surge del consenso entre los operadores respecto a que la fibra óptica proporcionará la solución futura de la red de acceso en términos de capacidad de servicio, respuesta a la demanda de nuevos servicios, disponibilidad de la red y reducción de costes. A medio plazo, los operadores participantes convienen en que se utilizarán otras tecnologías, como la transmisión avanzada sobre par de cobre o radio. Este proyecto evalúa las diferentes tecnologías y estrategias, de cara a abordar la viabilidad de las tecnologías de transmisión avanzadas sobre par de cobre, recomendaciones estratégicas y operativas para sistemas FITL (Fiber In The Loop: Fibra sobre el bucle), así como la planificación y evolución del acceso vía radio. Este proyecto utiliza TITAN como herramienta de evaluación técnico-económica [EUR94][IMS96].
- (1994-1996) EURESCOM P416 (Optical Networking: Redes Ópticas), como continuación del proyecto EURESCOM P306, y concentrado en el desarrollo de las redes ópticas. Este proyecto parte del consenso de los operadores de telecomunicaciones europeos respecto a la fibra óptica como la tecnología de la red de acceso del futuro, y de la mano de TITAN como herramienta de evaluación técnico-económica [SMU12].
- (1996-1998) EURESCOM P614 (Implementation strategies for advanced access networks: Estrategias de implementación para redes de acceso avanzadas). Proyecto continuación de los proyectos EURESCOM anteriores, que desarrolla modelos de implementación de redes de acceso, orientados hacia la provisión de servicios multimedia, y realiza la evaluación técnico-económica de los mismos basándose en TITAN y OPTIMUM [MAT98] [SMU12][JAN98][JAN00]. Al utilizar OPTIMUM, los indicadores económicos de modelos anteriores, son complementados con el NPV (Net Present Value) o VAN (Valor Actual Neto).
- (1994-1998) AC226 OPTIMUM [LAH06]. Proyecto dentro del Programa ACTS (Advanced Communications Technologies and Services). Su objetivo era establecer guías para la introducción de redes de comunicaciones multimedia avanzadas y estimular el incremento de uso de sus servicios, analizando las consecuencias técnico-económicas en diferentes casos de estudio utilizando la metodología y herramienta TITAN que fue enriquecida para manejar redes y servicios multimedia, incluyendo no sólo la red de acceso, sino también la parte de transporte y conmutación. En la figura 2.1 se muestra el modelo de evaluación tecno-económica OPTIMUM. Como puede comprobarse, en el modelo OPTIMUM los indicadores económicos de salida son el NPV (Net Present Value), el IRR (Internal Rate of Return o TIR: Tasa Interna de Retorno) y el Payback (Período de Amortización), lo cual será común a modelos posteriores. La evaluación de riesgos se realiza utilizando un programa de simulación externo denominado Cristal Ball [OLS99].

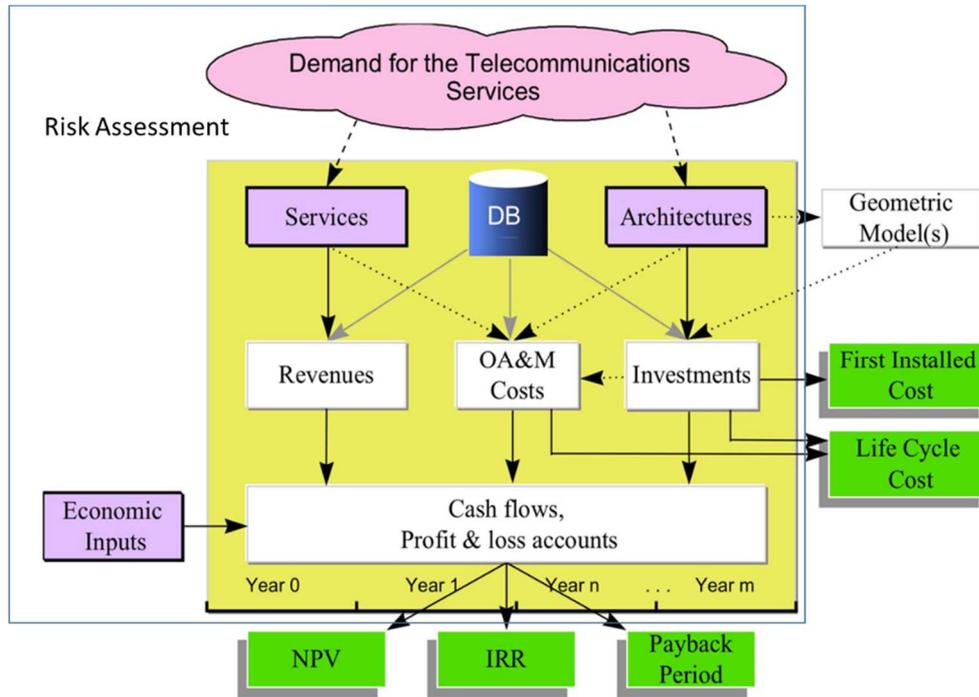


Figura 2.4: Modelo de evaluación tecno-económica OPTIMUM [OLS99].

- (1998-1999) AC364 TERA [LAH06]. Su objetivo fue apoyar la consolidación de líneas de desarrollo para la introducción de servicios y redes de comunicaciones avanzadas, realizando evaluaciones técnico-económicas de los resultados de proyectos del programa ACTS y pruebas de campo. Aplicaba la metodología técnico-económica y la herramienta desarrollada en TITAN y OPTIMUM. Los resultados se orientaron a la comunidad ACTS, proveedores de redes y servicios, proveedores de equipos, autoridades públicas y reguladores [WEL99].

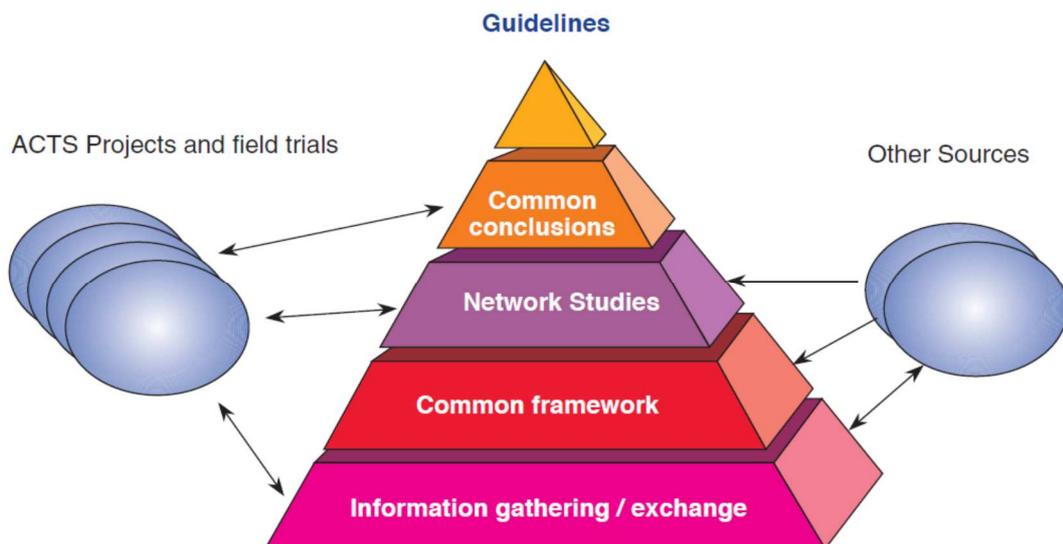


Figura 2.5: Enfoque del proyecto TERA para la generación de líneas de desarrollo tecno-económicas (guidelines) [LAH06].

- (1998-2002) IST-25172 TONIC [LAH06][VAR06][MON03] (TechnO-econNomICs of IP optimised networks and services): Este proyecto evoluciona la herramienta y metodología de los proyectos TITAN y OPTIMUM para la evaluación del conjunto de la red y servicios de comunicaciones, con el fin de dar máxima flexibilidad al usuario y se enfoca en la arquitectura del conjunto de la red de telecomunicaciones, no sólo de la red de acceso. También es capaz de contemplar servicios avanzados de telecomunicaciones como multimedia. Su principal objetivo es evaluar la introducción de servicios avanzados de comunicaciones en redes fijas y móviles, valorando diferentes casos de negocio para la introducción de servicios IP en redes móviles así como la introducción de banda ancha en entornos competitivos y no competitivos facilitando la elección de la infraestructura más apropiada en base a costes y beneficios económicos, proporcionando las recomendaciones pertinentes a los reguladores, operadores de telecomunicaciones y proveedores de servicios.

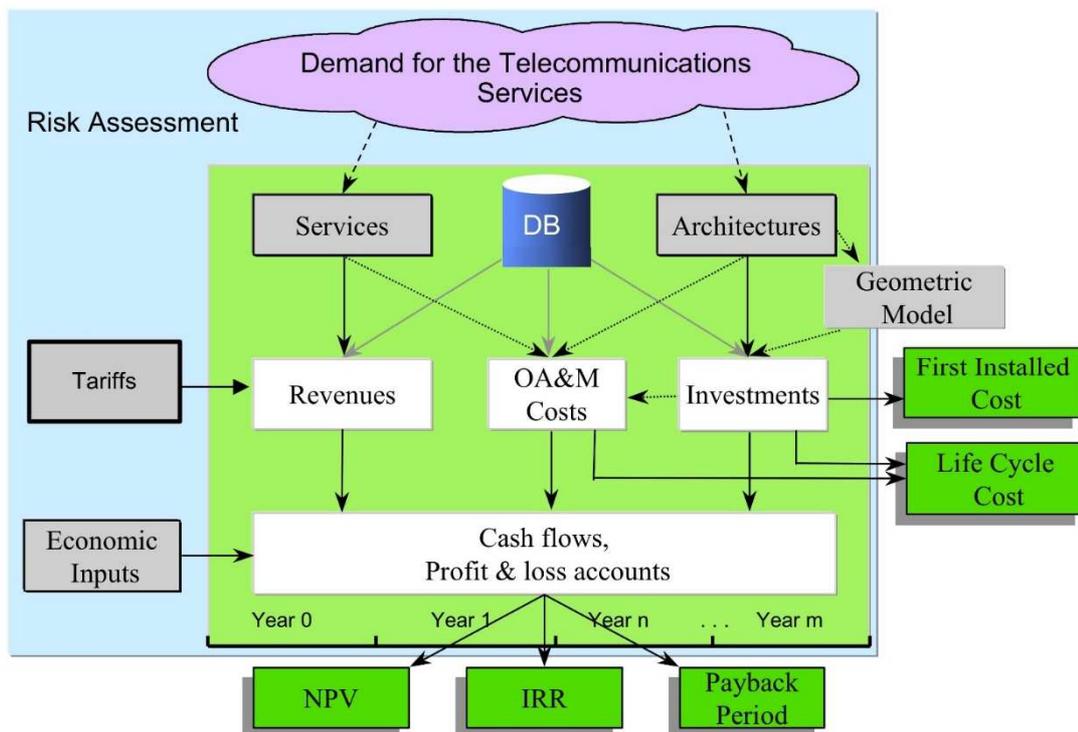


Figura 2.6: Modelo de evaluación tecno-económica TONIC [WEL02].

- (1999-2001) EURESCOM P901 (Extended investment analysis of telecommunication operator strategies: Análisis de inversión extendido de las estrategias de los operadores de telecomunicaciones) [SMU12]. Este proyecto utiliza la herramienta y metodología desarrolladas por TITAN y mejorada por los proyectos OPTIMUM, TERA y TONIC.
- (2003-2006) IST BROADWAN (Broadband services for everyone over fixed wireless access networks: Servicios de Banda Ancha para todos sobre redes de acceso fijas e inalámbricas). Dentro del 6º Programa Marco Europeo (EU FP-6), este proyecto tiene tres objetivos: desarrollar una arquitectura de red económicamente viable para proporcionar verdaderos servicios de banda ancha para toda Europa, llevar a la industria europea a la cabeza de las soluciones inalámbricas de nueva generación, y promover el uso avanzado de los servicios de banda ancha a todos los niveles de la sociedad, realizando demostraciones

- y pruebas en áreas rurales [COR03]. El proyecto BROADWAN analiza los costes de despliegue basándose en el modelo y metodología TONIC [SIG06].
- (2004-2006) IST BREAD (Broadband in Europe for all: Banda Ancha en Europa para todos): El Proyecto BREAD dentro del mencionado programa IST, utiliza un enfoque multidisciplinario con una acción coordinada orientada a la materialización del concepto “Banda Ancha para todos” en Europa. El objetivo principal del proyecto BREAD para alcanzar este objetivo de la Unión Europea, es integrar y coordinar múltiples disciplinas (sociales, económicas, regulatorias y tecnológicas), de cara a desarrollar nuevas estrategias y recomendaciones de buenas prácticas en el ámbito de “Banda Ancha para todos”. El consorcio BREAD estudió también el aspecto tecno-económico de dicho concepto para la red de acceso y la red troncal, apoyándose en los resultados tecno-económicos de los proyectos TONIC, TERA, ECOSYS y BROADWAN, pero particularizados al cálculo únicamente del coste de las inversiones de despliegue (CapEx), ante la ausencia de datos fiables de costes de operación por parte de los operadores [SIG06].
 - (2004-2007) IST ePhoton/One: (Towards Bandwidth Manageability and Cost Efficiency: Hacia la Gestionabilidad del Ancho de Banda y la Eficiencia de Costes). La iniciativa de Red de Excelencia ePhoton/One persigue integrar el conocimiento europeo sobre redes ópticas, favoreciendo la coordinación entre los participantes para alcanzar un consenso respecto a las alternativas técnicas de despliegue de redes ópticas, a fin de proporcionar información hacia los organismos de estandarización y las pertinentes recomendaciones a los operadores [NER04][SAN05]. Este proyecto contempla tanto la red de acceso, metro, troncal y la infraestructura ‘in-home’, particularizando el estudio económico en los costes de inversión (CapEx). La comunidad ePhoton/One dio lugar posteriormente al proyecto BONE [CAL08].
 - (2004-2007) ECOSYS [LAH06][VAR07][SMU08]: El proyecto ECOSYS introduce como novedad una metodología de evaluación técnico-económica integrada en una herramienta software específica (La mayoría de modelos anteriores se implementaban en hojas de cálculo). ECOSYS incorpora una nueva versión del modelo de predicción de costes desarrollado por el proyecto TITAN, basado en una combinación de curvas de aprendizaje y modelos logísticos. La metodología original de TITAN y su herramienta fueron mejoradas en los proyectos OPTIMUM, TERA y TONIC para contemplar servicios multimedia complejos. ECOSYS mejora la metodología especialmente en lo que se refiere a la definición de servicios y evaluación de los costes OAM (Operation, Administration & Maintenance: Operación, Administración y Mantenimiento). Así también incorpora no sólo el cálculo del NPV (Net Present Value o VAN: Valor Actual Neto) basado en el clásico análisis de DCF (Discounted Cash Flows: Flujos de Caja Depreciados), sino que también incorpora análisis de Real Options (ROA), basado en la teoría de opciones financieras - una clase de los llamados derivados financieros - de cara a contemplar la flexibilidad y volatilidad en el curso de los proyectos [HAR10]. En este contexto, flexibilidad es el derecho a realizar una acción y volatilidad es la incertidumbre del valor de los activos del proyecto [LAH06]. En la figura 2.3 se muestra esquemáticamente la metodología ECOSYS, dado que la estructura del modelo técnico-económico es idéntica a la mostrada en la Figura 2.3 [SMU12].

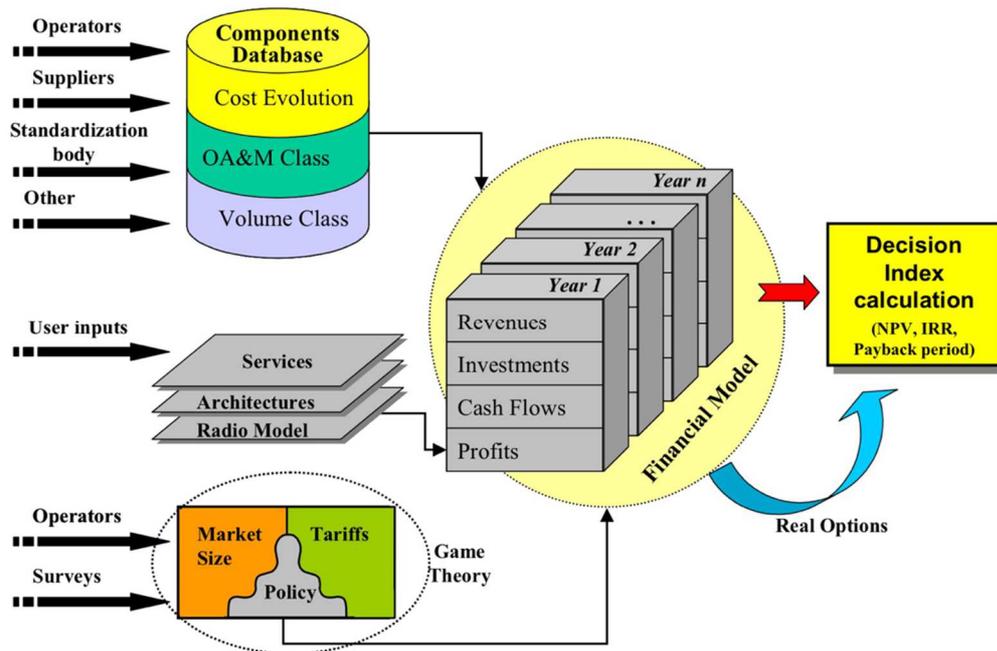


Figura 2.7. Metodología de evaluación técnico-económica del proyecto ECOSYS [LAH06].

- (2004-2007) MUSE (Multi-Service Access Everywhere: Acceso Multiservicio en cualquier lugar): El objetivo global del proyecto europeo MUSE es la investigación y el desarrollo de una red multiservicio futura de bajo coste, que pueda proporcionar conectividad segura entre los terminales de usuario final y los nodos que conectan la red de agregación con la red troncal (edge nodes) [MUS08]. MUSE contempla en su objetivo no sólo la red de acceso, sino también la red de agregación, de tal manera que contempla todo el trayecto desde el usuario final hasta el edge-node o Punto de Presencia PoP (Point of Presence) del Proveedor de Servicio, contemplando la Calidad de Servicio (QoS: Quality of Service). MUSE utiliza y extiende TONIC a este respecto, y recupera el análisis económico global basado en el Flujo de Caja, considerando, por tanto, ingresos, inversiones (CapEx), y costes de operación (OpEx) [MON05]. En la Figura 2.4 se muestra el modelo MUSE. Como puede comprobarse, su estructura es prácticamente la misma que la del modelo TONIC y ECOSYS, a excepción de que no incluye expresamente el análisis de riesgos.

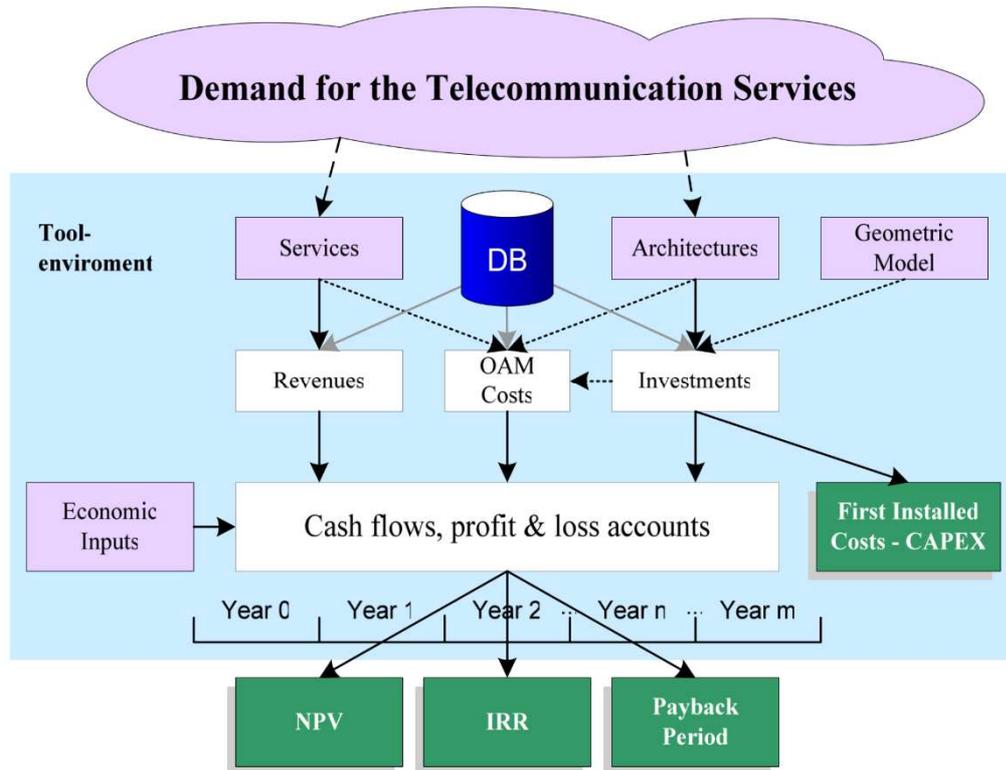


Figura 2.8: Modelo de evaluación techno-económica MUSE [MON05].

- (2007-2013) OASE (Optical Access Seamless Evolution: Evolución Sin Límites del Acceso Óptico). El proyecto OASE utiliza un enfoque multidisciplinario integrando operadores europeos, fabricantes de tecnologías FTTH y universidades europeas de cara a proporcionar un conjunto de soluciones tecnológicas en el ámbito del acceso FTTH, dentro del FP-7 (Seventh Framework Programme: 7º Programa Marco) [OAS13][WEI12][MAC13a][MAC13b]. En OASE se decide utilizar TONIC como herramienta marco (framework tool), a la cual se agregaron otros modelos de demanda, topología, arquitectura, dimensionamiento, evaluación y operación, bien creados por partners del proyecto, bien ya existentes y creados por terceros. También se incorpora la facilidad de añadir nuevos modelos de negocio y herramientas de migración. Todo ello con el fin de aprovechar 'know-how' externo, tal y como se muestra en la Figura 2.9 y la Figura 2.10. Como se ha mencionado en el apartado 2.2.1, el proyecto OASE propone una metodología específica de evaluación técnico-económica orientada al despliegue de redes denominada Scope, Model, Evaluate, Refine (Visualiza, Modela, Evalúa, Refina), que se muestra en la Figura 2.11.

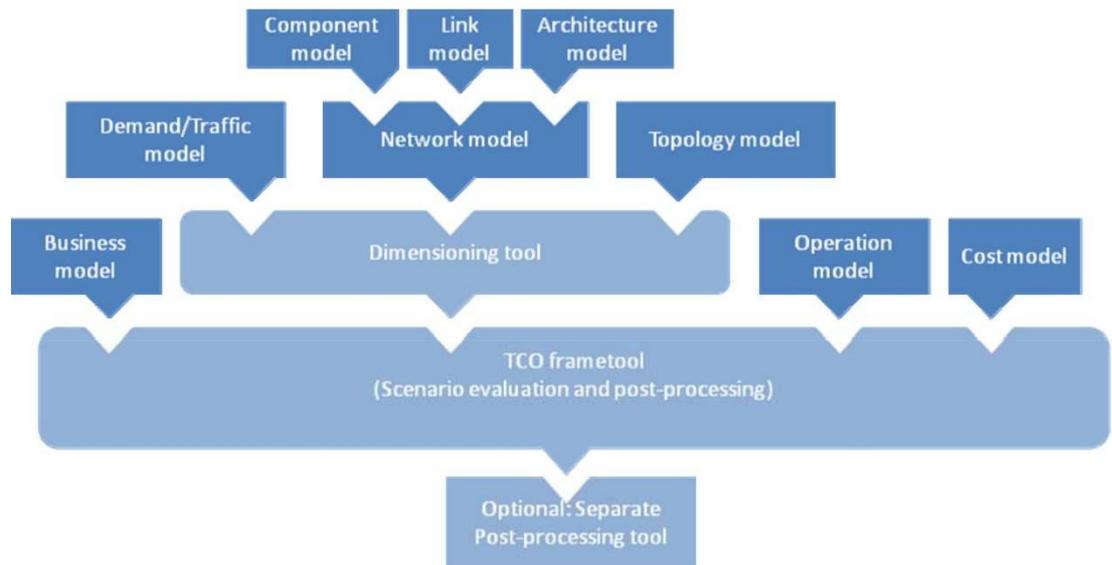


Figura 2.9: Esquema marco (framework) de OASE [CAS10].

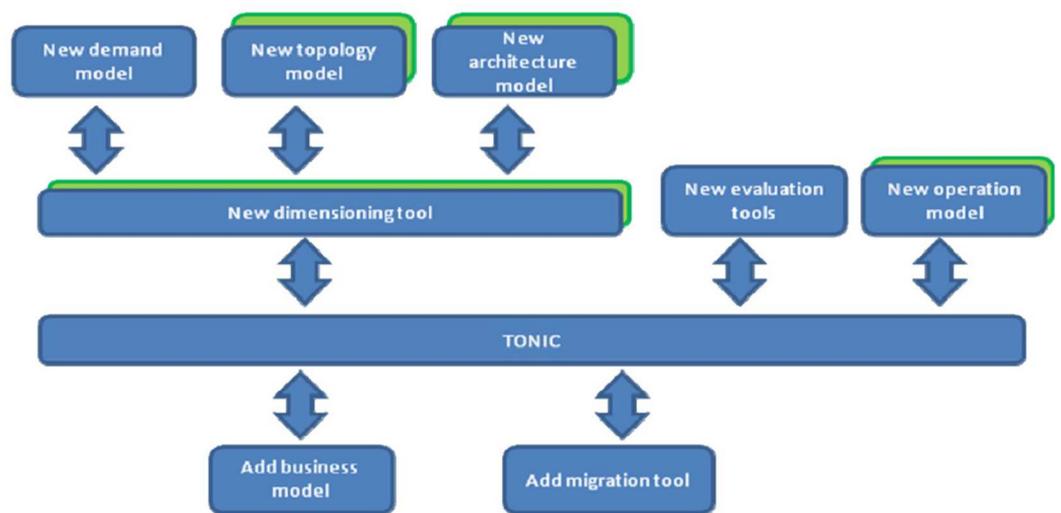


Figura 2.10: Ejemplo de análisis TCO utilizando TONIC como frame-tool en el proyecto OASE. Se muestran para algunos casos las herramientas y métodos desarrollados por diferentes partners (en color verde) [CAS10].

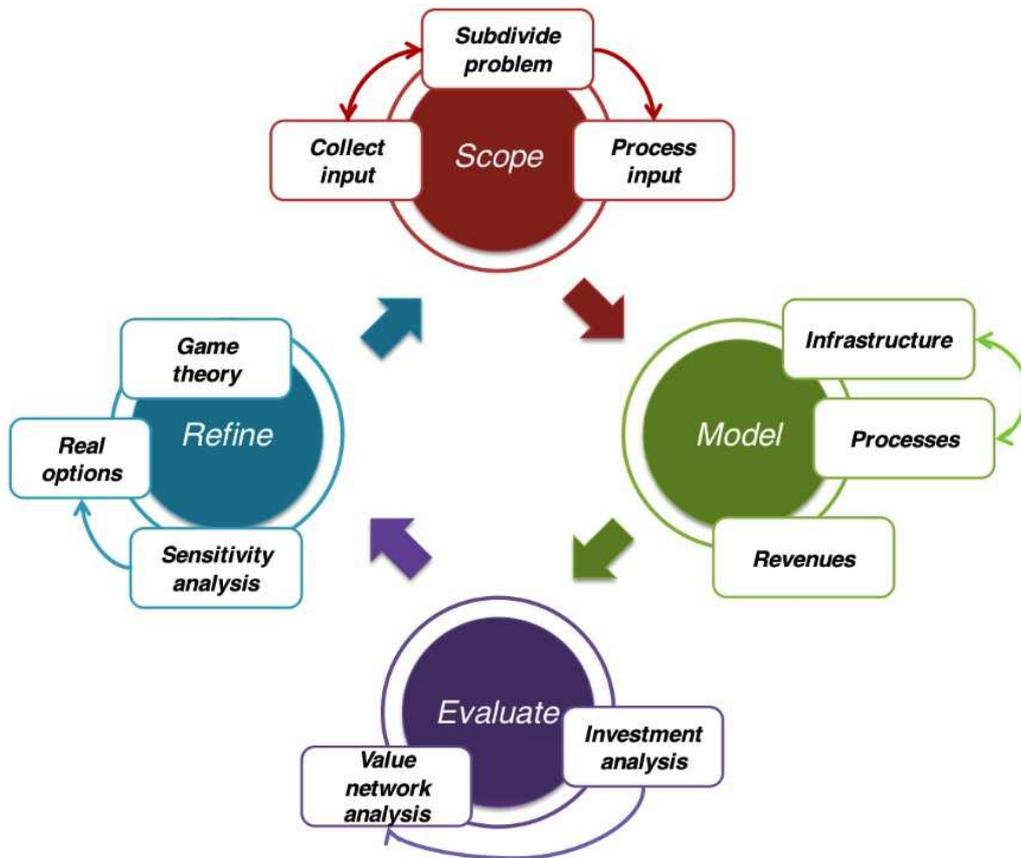


Figura 2.11: Metodología OASE de evaluación técnico-económica para el despliegue de redes [VER09].

- (2008-2011) BONE (Building the future Optical Network in Europe: Construyendo la futura Red Óptica en Europa) [POL10][DAE08][LAN09][MIT10a][MIT10b][MIT11]. Este proyecto, que supone una evolución del proyecto e-Photon/One [CAL08], tiene como objetivo intercambiar y consolidar las últimas investigaciones y desarrollos en los sistemas de acceso que utilizan tecnología óptica para proporcionar conexiones de Banda Ancha a usuarios fijos y móviles, estableciendo una plataforma que permita la comparación de las diferentes tecnologías de acceso ópticas de cara a proporcionar recomendaciones para el despliegue de las más óptimas en los diferentes escenarios europeos. La novedad, como puede comprobarse, en la Figura 2.8 es la introducción de un análisis de rendimiento de la red óptica de acceso/metro, que finalmente no se desarrolla, pues se limita al cálculo de una figura de mérito que relaciona el CapEx con la fiabilidad de la red [KAN10][CHE08][WOS08][WOS09].

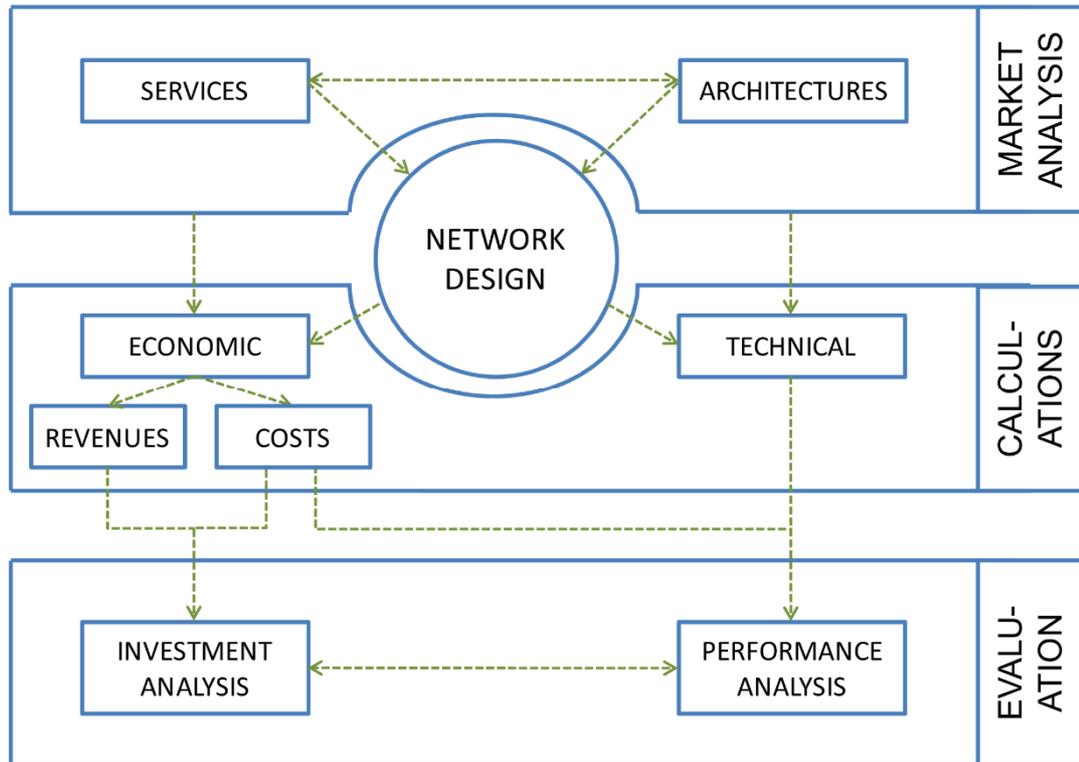


Figura 2.12: Diagrama de flujo de evaluación técnico-económica en BONE [KAN10].

- (2010-2011) CELTIC-AWARE (Aggregation of WLAN Access Resources: Agregación de Recursos de Acceso de Red de Área Local Inalámbrica). Este proyecto tiene como objetivo agregar las WLANs privadas y permitir a los agentes del sector de telecomunicaciones explotar dicha agregación. AWARE pretende que las redes móviles de banda ancha puedan aprovechar dicha agregación en entornos urbanos, impulsando que diferentes agentes del sector de telecomunicaciones puedan desplegar sus servicios sobre esta nueva infraestructura de red [AWA10][REI11].
- (2010-2012) ICON TERRAIN (Techno-Economic Research for futuRe Access Infrastructure Networks: Investigación Tecno-económica para la Infraestructura de Acceso futura), impulsado por iMinds (hub de investigación y emprendizaje digital de Flandes en Bélgica), investiga el despliegue de fibra óptica en la red de acceso de manera cooperativa con otras redes de suministro, de cara a reducir los elevados costes de instalación, optimizando la colaboración de todos los agentes involucrados (fabricantes, operadores, compañías de suministro, administraciones locales, proveedores de software de Sistemas de Información Geográfica (GIS), de software de telecomunicaciones, y grupos de investigación multidisciplinares), analizando todos los aspectos desde una perspectiva tecno-económica [OOT11]. El proyecto ICON TERRAIN utiliza la herramienta y metodología de OASE [CVM11]. En [CVM11], se afirma textualmente: “La investigación ‘tecnico-económica’ complementa la evolución tecnológica y los productos con un análisis económico a fin de indicar diferentes puntos de equilibrio y

proporcionar recomendaciones”, en línea con el concepto tradicional de modelización técnico-económica de Smura [SMU12].

- (2010-2013) ACCORDANCE. Dentro del 7º Programa Marco de la Unión Europea (EU FP-7), el proyecto STREP ACCORDANCE investiga un nuevo paradigma para la red de acceso: La introducción de la tecnología OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access: Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal) en las redes PON (Passive Optical Network: Red Óptica pasiva), ofreciendo simultáneamente acceso óptico para redes inalámbricas y redes de cobre [WEI11], [ACC10].
- (2012-2015) CONTENT (Convergence of Wireless Optical Network and IT REsources IN SupporT of Cloud Services: Convergencia de Redes Ópticas, Inalámbricas y Recursos de Tecnologías de la Información para soportar Servicios en la Nube). El proyecto ICT-CONTENT dentro del 7º Programa Marco Europeo de Investigación (EU FP-7) aborda el desarrollo de un modelo de infraestructura de red convergente y ubicua de nueva generación, basada en el paradigma de Infraestructura como Servicio (IaaS: Infrastructure as a Service), de cara a proporcionar una plataforma tecnológica interconectando recursos de computación distribuidos geográficamente que puedan soportar Servicios en la Nube para usuarios fijos y en movilidad [CON12].
- (2013-2016) COMBO (COnvergence of fixed and Mobile BrOadband access/aggregation networks: Convergencia de las redes de acceso y agregación de Banda Ancha fijas y móviles). Se trata de un proyecto integrado con fondos del 7º Programa Marco Europeo (EU FP-7), que investiga sobre la convergencia de las redes de acceso y agregación de banda ancha fijas y móviles (FMC: Fixed / Mobile Converged) (FMC) en diferentes escenarios (urbano denso, urbano, rural). Las arquitecturas convergentes propuestas por el proyecto COMBO se basan en el concepto innovador del Punto de Presencia de Nueva Generación (NG-POP: Next Generation Point of Presence) [COM13].
- (2013-2016) ICT-DISCUS (The DIStributed Core for unlimited bandwidth supply for all Users and Services: El Núcleo Distribuido para suministro ilimitado de ancho de banda para todos los Usuarios y Servicios). Este proyecto, dentro del 7º Programa Marco Europeo (EU FP-7), tiene como objetivo definir una arquitectura extremo a extremo para una red óptica orientada a futuro que sea económicamente viable, energéticamente eficiente, y sostenible, desarrollando la oportunidad ofrecida por las LR-PONs (Long Reach Passive Optical Networks: Redes Ópticas Pasivas de Largo Alcance) y redes troncales ópticas planas, eliminando los límites tradicionales en la red óptica relativos a las áreas metropolitanas, regionales, troncales y de acceso [DIS13][ZUK14][RUF14][WIA14].
- (2013-2016) UNIFY (Unifying Cloud and Carrier Networks: Unificando la Nube y las Redes). El proyecto ICT-UNIFY financiado en el 7º Programa Marco Europeo (EU FP-7), tiene como objetivo la completa virtualización de la red y los servicios a fin de proporcionar flexibilidad y agilidad en la creación de servicios sobre la red, ganando en eficiencia operativa. El consorcio UNIFY investiga y desarrolla medios para orquestar la provisión de servicios extremo a extremo sobre una infraestructura de red virtualizada que integra redes físicas y Data Centers, proponiendo una arquitectura de nodo universal. Entre sus objetivos, se encuentra generar un modelo tecno-económico específico sobre

la posible futura arquitectura de nodo universal, que se espera vea la luz tras la finalización del proyecto prevista en Abril 2016 [UNI13].

- (2009-2017) CELTIC 4GBB (4th Generation Broadband Systems: Sistemas de Banda Ancha de 4ª Generación). Se trata de una trilogía de proyectos, el primer proyecto 4GBB (2009-2012) tenía como objetivo concebir una tecnología DSL de última generación que ocupara el espacio entre VDSL 2 y el escenario a largo plazo de FTTH. Integrado por fabricantes y universidades europeas, desarrolló modelos de cable avanzados, técnicas de transmisión de banda ancha de alto rendimiento, así como comunicación multicanal y métodos de gestión de recursos, e inició la creación del estándar G.fast aprobado por la UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU: International Telecommunications Union) en 2014 de la mano del segundo proyecto HFCC/G.fast (2013-2014). El estándar G.fast corresponde al concepto FTTdp (Fiber To The Distribution Point: Fibra hasta el Punto de Distribución), y permite velocidades entre 150 Mbits/s y 1 Gbit/s dependiendo de la longitud del par de cobre, para bucles de usuario de longitud igual o inferior a 250 metros [4GB09][ITU14]. Actualmente se encuentra en curso el tercer proyecto denominado GOLD (2015-2017) (Gigabits over the legacy drop: Gigabits sobre el antiguo bucle) con el objetivo de mejorar los estándares para abrir un potencial mercado masivo para G.fast, impulsar su uso en áreas urbanas densas, incluso sustituyendo el backhaul de fibra del primer estándar G.fast por cobre e incrementando la velocidad máxima por encima de 1 Gigabit/s [GOL15][ODL09]. El proyecto 4GBB desarrolla un modelo específico para FTTdp cuyo diagrama se muestra en la Figura 2.9. La salida del modelo es un único parámetro económico denominado DNPV (Delta Net Present Value: Valor Actual Neto Delta), que expresa la diferencia de valor económico añadido (EBIT: Earnings Before Interest and Taxes, i.e.: Beneficios antes de pago de Intereses e Impuestos) entre dos alternativas de despliegue elegidas, como por ejemplo: desplegar FTTH o desplegar FTTdp. El modelo 4GBB utiliza 5 submodelos, 1) para calcular los costes de inversión (CapEx) de la red, 2) las conexiones combinando velocidad de despliegue y tasa de conversión de hogares pasados a hogares conectados, 3) los clientes por tecnología anualizados, 4) los costes de operación (OpEx), y 5) los ingresos adicionales por cliente extra al año [PHI13].

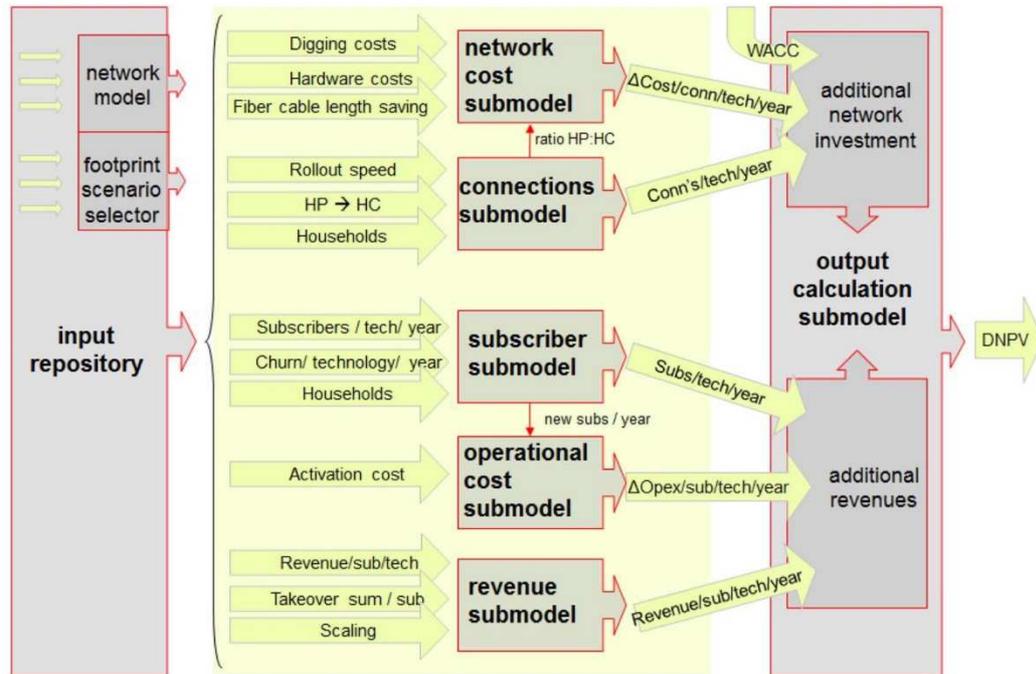


Figura 2.13: Diagrama del modelo técnico-económico 4GBB [PHI13].

- (2014-2020) Iniciativa 5G-PPP (The 5G Infrastructure Public Private Partnership: El Consorcio Público Privado de Infraestructura 5G) dentro del 8º programa Marco de la Unión Europea denominado Horizon 2020 para el desarrollo de redes 5G. Este Consorcio promovido por la Comisión Europea, fabricantes de equipos, operadores de telecomunicaciones, proveedores de servicios, PYMES e investigadores, proporcionará soluciones, arquitecturas, tecnologías y estándares para la próxima generación ubicua de infraestructuras de comunicaciones de la próxima década, con los siguientes objetivos [5GP14]:
 - “Proporcionar redes inalámbricas con una capacidad 1000 veces superior y más variadas capacidades de servicios, en comparación con las existentes en el año 2010.
 - Ahorrar hasta un 90% de energía por servicio proporcionado, con foco principal en la reducción del consumo en la red de acceso radio de comunicaciones móviles.
 - Reducir el ciclo medio de creación de un servicio de 90 horas a 90 minutos.
 - Crear una Internet segura y fiable con “cero” tiempo de caída percibido durante la provisión de servicios.
 - Facilitar despliegues muy densos de enlaces de comunicaciones inalámbricas para conectar más de 7 trillones de dispositivos inalámbricos que darán servicio a más de 7 billones de personas.
 - Asegurar para cualquier persona y en cualquier lugar el acceso a un mayor abanico de servicios y aplicaciones a menor coste.”

Esta iniciativa integrará sucesivas oleadas de proyectos. Aún no se ha identificado la utilización o desarrollo de modelos tecno-económicos, dado que los primeros proyectos se encuentran todavía en sus fases iniciales. Se incluye

la mención con el propósito de que el lector sea conocedor de esta iniciativa que también utiliza parcialmente financiación pública.

Todos los proyectos identificados con financiación pública son europeos, sin que se hayan identificado proyectos con financiación pública en otros continentes. Las referencias de la literatura de otros continentes, por otro lado minoritarias, provienen de la empresa privada y de algunas universidades, como puede comprobarse en la Tabla 2.1 [REE89], [LEL90], [GHA09] [PEC13].

Según lo expuesto, y a la luz del número de proyectos de investigación en esta materia, con financiación por parte de instituciones de la Unión Europea, existe un interés económico y una financiación pública, que justifica seguir profundizando en el desarrollo de modelos de evaluación técnico-económica para tecnologías de acceso.

Se observa que, pese a haberse desarrollado modelos técnico-económicos para tecnologías de acceso de la mano de proyectos con financiación pública, hasta la fecha no se ha identificado un modelo universal que permita comparar cualesquiera tecnologías de acceso en cualquier configuración o combinación; que se halle orientado a cualquier agente del sector de telecomunicaciones; que permita la evaluación y comparación de la viabilidad técnica y no sólo económica, y que sea flexible, extensible e integrable con otros modelos tecno-económicos.

2.3 Características de un Modelo Técnico-Económico Universal

A continuación se exponen las características que se considera ha de tener un modelo teórico universal y generalizable de evaluación técnico-económica de tecnologías de acceso. La definición de dichas características se basa en un estudio profundo del Estado del Arte, complementado por la experiencia profesional del autor como ingeniero de telecomunicación en el diseño de soluciones innovadoras en el ámbito de la red de acceso para diferentes agentes del sector de telecomunicaciones:

- **Universalidad Multiacceso:** ha de permitir comparar diferentes tecnologías de acceso actuales y futuras.
- **Universalidad en Combinación de tecnologías:** ha de permitir la valoración técnica y económica de accesos constituidos por combinación de diferentes tecnologías.
- **Universalidad en la Orientación a usuario de la tecnología:** orientado tanto a los operadores de telecomunicaciones como a los clientes y usuarios finales de los servicios de telecomunicaciones, así como a cualquier otro agente del mercado de telecomunicaciones, como por ejemplo: el Regulador, los Proveedores de Servicios de Comunicaciones (CSPs: Communication Service Providers).
- **Universalidad en la incorporación de aproximaciones “micro” y “macro”:** ha de incorporar las aproximaciones “micro” (‘bottom-up’) (desde la perspectiva del cliente o usuario final) y “macro” (‘top-down’) (desde la perspectiva del despliegue), a la hora de evaluar tecno-económicamente las tecnologías de acceso.
- **Orientación a Requisitos del usuario del modelo:** ha de considerar los requisitos del usuario del modelo, sea éste cliente, operador o cualquier otro agente de cara a valorar las tecnologías de acceso. Esta característica se refiere a la metodología de aplicación del modelo.
- **Universalidad geográfica:** ha de permitir su aplicación en cualquier área geográfica o geotipo, sea cual sea su densidad de población, segmentos de población (hogares, empresas) y distribución de la misma.
- **Universalidad Técnica y Económica:** ha de proporcionar parámetros de entrada y salida técnicos y económicos, de cara a permitir una valoración tanto técnica como económica de las diferentes tecnologías de acceso.
- **Extensibilidad y flexibilidad:** el modelo ha de ser extensible y flexible. Ha de proporcionar facilidad para añadir nuevos parámetros de entrada y salida contribuyendo a su universalidad.
- **Comparabilidad Técnica y Económica:** ha de proporcionar facilidad para comparar tanto sus resultados técnicos como sus resultados económicos con otros modelos.
- **Capacidad Predictiva:** ha de permitir incorporar y realizar predicciones en un período de tiempo determinado.
- **Capacidad de Integración con otros modelos:** ha de permitir integración con otros modelos técnico-económicos para favorecer una valoración lo más completa posible y facilitar la evolución del Arte.

2.4 Clasificación y análisis de los modelos técnico-económicos para redes de acceso

A continuación se procede a clasificar una selección de modelos técnico-económicos para redes de acceso, identificados en la literatura, en base a las características expuestas para un modelo técnico-económico universal y generalizable.

Se ha elegido una muestra de 14 artículos sobre los 40 expuestos en la Tabla 2.1. Los modelos objeto de la clasificación, han sido seleccionados, eligiendo 7 artículos correspondientes a modelos de proyectos con financiación pública de la UE, y 7 correspondientes a modelos propietarios (para los que no se ha identificado financiación pública de la UE).

2.4.1 Universalidad Multiacceso

La característica Universalidad Multiacceso se refiere a la capacidad del modelo para comparar diferentes tipos de tecnologías de acceso, ya sean éstas actuales: tecnologías de acceso fijas, inalámbricas, mixtas o híbridas, o futuras, como accesos virtualizados NFV (Network Function Virtualization) / SDN (Software Defined Networking), o cualquier otro tipo de tecnología de acceso futura.

En la literatura podemos distinguir (Véase Tabla 2.2):

- Modelos que comparan sólo tecnologías de acceso fijas.
- Modelos que comparan sólo tecnologías de acceso inalámbricas.
- Modelos que comparan tecnologías de acceso fijas e inalámbricas.
- Modelos que comparan tecnologías de acceso fijas, inalámbricas y mixtas: redes híbridas compuestas por la combinación serie de tecnología de acceso fija y tecnología de acceso inalámbrica (FiWi: Fixed & Wireless)

Cabe destacar que, en la revisión de la literatura, no se ha identificado mención alguna a redes híbridas compuestas por combinación en paralelo de accesos fijos e inalámbricos, ni modelos techno-económicos que evalúen accesos virtualizados, aunque respecto a esto último se entiende que los resultados del proyecto UNIFY que finalizará en Abril de 2016, proporcionarán literatura al respecto.

2.4.1.1 Modelos que comparan sólo tecnologías de acceso fijas

Los modelos [OLS96], [MER09], [MCF11], [WEE12] presentan capacidad para comparar sólo tecnologías de acceso fijas pero no tecnologías de acceso inalámbricas o híbridas compuestas por tecnología de acceso fija y tecnología de acceso inalámbrica. Los modelos [OLS96] y [MON05] mencionan un mayor abanico de tecnologías de acceso fijas, frente a [MER09] que se limita a FTTH. [MCF11] se limita a la comparación entre HFC/DOCSIS y FTTH-GPON. El modelo [WEE12] se centra en la comparación de despliegues de tecnología FTTH distinguiendo entre PON, ASN (Active Star Network) y HRN (Home Run Network).

[MON05] incluye la red de acceso híbrida fija xDSL over Optics, constituida por la extensión de la red de acceso xDSL mediante un enlace de fibra óptica entre el DSL NT (Network Termination: Terminación de Red) de central y el multiplexor DSLAM ubicado remotamente. Se trata por tanto de la combinación serie de las tecnologías xDSL y FTTCab (Fiber To The Cabinet: Fibra Hasta el Nodo o Armario remoto).

2.4.1.2 Modelos que comparan sólo tecnologías de acceso inalámbricas

Del análisis realizado de la literatura, [SMU05] presenta un análisis técnico-económico de la tecnología WiMAX basado en los modelos TONIC y ECOSYS [OLS06].

2.4.1.3 Modelos que comparan tecnologías de acceso fijas e inalámbricas

En la literatura, [JAN00] presenta una evaluación técnico-económica de modelos de implementación de tecnologías de acceso fijas: ISDN, xDSL, HFC, FTTx y tecnologías de acceso inalámbricas: WLL, Satélite. El modelo ECOSYS [OLS06] también proporciona dicha capacidad. [ZAG10] analiza y compara las tecnologías de acceso ADSL y WiMAX para la implementación de Banda Ancha Rural e identifica como futuro trabajo la expansión del modelo tecno-económico para analizar la red de acceso móvil. [VER10] presenta el modelo COSTA que permite el análisis técnico-económico para el despliegue de Redes de Acceso de Próxima Generación (NGAN) y proporciona la comparación entre diferentes alternativas de despliegue: FTTN/VDSL, FTTH/GPON, FTTH/P2P, HFC/DOCSIS 3.0, WiMAX y LTE. Finalmente, [FEI11] proporciona una comparativa del despliegue de Redes de Acceso de Próxima Generación (NGAN) en entorno rural contemplando FTTH/GPON, FTTC/FTTB/VDSL, HFC/DOCSIS 3.0 y LTE (4G).

2.4.1.4 Modelos que comparan tecnologías de acceso fijas, inalámbricas y mixtas/híbridas

[PF09] distingue entre capa estática y nómada en función de si la ubicación de los usuarios es fija o se encuentran en movilidad, proporcionando análisis técnico-económico de las tecnologías FTTH (PON), xDSL, HFC y PLC para la capa estática y WiMAX para la capa nómada, permitiendo la evaluación de tecnologías de acceso mixtas o híbridas compuestas por combinación serie de distinta tecnología fija e inalámbrica (FiWi: Fixed & Wireless). El autor Pereira en [PER07] incluye no sólo WiMAX, sino también accesos Satélite y FWA (Fixed Wireless Access) para la capa nómada, conservando la capacidad de evaluar redes híbridas compuestas por combinación serie de tecnologías de acceso fijas e inalámbricas. [PEC13] pone foco en el análisis de redes híbridas fijas-inalámbricas contemplando en la capa estática las tecnologías xDSL, Fibra y Free Space Optics (FSO) y para la capa nómada WiFi, WiMAX y LTE.

Universalidad Multiacceso			
	Tecnologías de acceso Fijas	Tecnologías de acceso Inalámbricas	Tecnología de acceso Mixtas (Híbridas)
Olsen et al. [OLS96]. TITAN (1996)	ADSL, PON, CATV, ISDN, FTTx, HFC		
Jankovich et al. [JAN00]. EURESCOM (2000)	ISDN, xDSL, HFC, FTTx	WLL, Satellite	
Smura [SMU05]. Sólo WiMAX. TONIC & ECOSYS (2005)		WiMAX	
Olsen et al. ECOSYS [OLS06] (2006)	ISDN, B-ISDN (FITL), xDSL, HFC, FTTx	WLL, Satellite, WiMAX	
Monath et al. [MON05]. MUSE (2005)	FTTx, ADSL, SHDSL, VDSL		xDSL over Optics
Pereira & Ferreira [PF09] (2009)	FTTH (PON), xDSL, HFC, PLC	WiMAX	Static Layer and Nomadic Layer with WiMAX
Van der Merwe et al. [MER09]. Sólo FTTH (2009)	GPON, AON/Active Ethernet (AE), P2P Optical Networks		
Zagar et al. [ZAG10] (Banda Ancha rural en Croacia) (2010)	ADSL	WiMAX	
Pereira [PER07] (2007)	xDSL, HFC, FTTH, PLC	WiMAX, Satellite, Fixed Wireless Access (FWA)	Not specifically mentioned but possible
Vergara et al. [VER10]. Modelo COSTA (2010)	FTTH/GPON, FTTN/VDSL, FTTH/P2P, HFC/Docsis,	WiMAX, LTE	
Feijoo et al. [FEI11]. RURAL (2011)	FTTH/GPON, FTTN/VDSL, HFC/Docsis	LTE (4G)	
Martin et al. [MCF11]. Sólo HFC (2011)	HFC/DOCSIS		
Van der Wee et al. [WEE12]. Sólo FTTH. OASE (2012)	FTTH/PON, FTTH/ASN (Active Star Network), FTTH/HRN (Home Run Network)		
Pecur [PEC13] FiWi (2013)	xDSL, FTTx, FSO	WiFi, WiMAX, LTE (4G)	FiWi - Series Combination

Tabla 2.2: Análisis de la literatura en base a la característica Universalidad Multiacceso.

2.4.2 Universalidad en Combinación de Tecnologías de Acceso

La característica Universalidad en Combinación de Tecnologías de Acceso se refiere a la capacidad del modelo de permitir la valoración técnica y económica de accesos constituidos por combinación serie o paralelo de diferentes tecnologías o incluso de la misma tecnología.

En la literatura, se puede distinguir (Ver Tabla 2.3):

- Modelos que permiten combinación serie de tecnologías de acceso fijas
- Modelos que permiten combinación serie de tecnologías de acceso fijas e inalámbricas
- Modelos que permiten combinación paralelo de distintas tecnologías de acceso

No se identifica en la literatura ningún modelo que permita combinación paralelo de accesos de la misma tecnología, ni accesos idénticos redundantes, de cara a incrementar prestaciones como el ancho de banda y disponibilidad para el cliente o usuario final.

2.4.2.1 Combinación serie de tecnologías de acceso fijas

En la literatura, [OLS96] evalúa combinaciones serie de diferentes tecnologías de acceso fijas como FTTB PON for POTs/N-ISDN. [MON05] incluye combinación serie de tecnologías de acceso fijas: xDSL over Optics. El modelo COSTA [VER10] permite la valoración técnico-económica de la tecnología FTTN/VDSL compuesta por combinación serie de red de acceso de fibra y acceso VDSL. [JAN00], [OLS06], [FEI11] permiten también la valoración técnico-económica de combinaciones serie en caso de tecnologías de acceso FTTx distintas de FTTH (FTTN/VDSL, FTTB/VDSL, FTTC/VDSL).

2.4.2.2 Combinación serie de tecnologías de acceso fijas e inalámbricas.

[PF09] presenta un modelo preparado específicamente para combinación serie de tecnologías de acceso fijas e inalámbricas, distinguiendo entre la capa estática de tecnologías fijas (xDSL, FTTH, HFC, PLC) y la capa nómada con tecnología inalámbrica WiMAX. [PEC13] presenta un análisis tecno-económico de red de acceso híbrida compuesta por combinación serie de tecnologías fijas (xDSL, FTTx, FSO) e inalámbricas (WiFi, WiMAX, LTE).

2.4.2.3 Combinación paralelo de distintas tecnologías de acceso

[OLS96] contempla la combinación paralelo de las tecnologías de acceso fijas HFC/TPON constituida por acceso HFC y Telefonía sobre PON. Esta combinación paralelo no está planteada como acceso de respaldo para un mismo usuario final sino como despliegue mixto para un operador de cable CATV dada la orientación del modelo al despliegue de tecnologías de acceso por parte de los operadores. Se trata de

una excepción en la literatura, dado que el resto de modelos no contemplan combinación alguna de tecnologías de acceso en paralelo.

Universalidad en Combinación de tecnologías de acceso			
	Combinación serie de tecnologías fijas	Combinación de serie de tecnologías fijas e inalámbricas	Combinaciones en paralelo de distinta tecnología
Olsen et al. [OLS96]. TITAN (1996)	FTTB PON for POTS, N-ISDN		HFC/TPON (Telephony over PON)
Jankovich et al. [JAN00]. EURESCOM (2000)	FTTC/VDSL		
Smura [SMU05]. Sólo WiMAX. TONIC & ECOSYS (2005)			
Olsen et al. ECOSYS [OLS06] (2006)	FTTC/VDSL		
Monath et al. [MON05]. MUSE (2005)	xDSL over optics		
Pereira & Ferreira [PF09] (2009)		Static Layer (xDSL, FTTH, HFC, PLC) + Nomadic Layer (WiMAX)	
Van der Merwe et al. [MER09]. Sólo FTTH (2009)			
Zagar et al. [ZAG10] (Banda Ancha rural en Croacia) (2010)			
Pereira [PER07] (2007)			
Vergara et al. [VER10]. Modelo COSTA (2010)	FTTN/VDSL		
Feijoo et al. [FEI11]. RURAL (2011)	FTTN/VDSL		
Martin et al. [MCF11]. Sólo HFC (2011)			
Van der Wee et al. [WEE12]. Sólo FTTH. OASE (2012)			
Pecur [PEC13] FiWi (2013)		Fixed-Wireless. Fixed (xDSL, FTTx, FSO). Wireless (WiFi, WiMAX, LTE)	

Tabla 2.3: Análisis de la literatura en base a la característica Universalidad en Combinación de tecnologías de acceso

2.4.3 Universalidad en la Orientación a usuario

La característica Universalidad en la Orientación a usuario se refiere a que un modelo universal y generalizable ha de hallarse orientado tanto a los operadores de telecomunicaciones como a los clientes y usuarios finales de los servicios de telecomunicaciones así como a cualquier otro agente del mercado de telecomunicaciones como, por ejemplo, el Regulador o los Proveedores de Servicios de Comunicaciones (CSPs: Communication Service Providers).

En la literatura, se distinguen (Ver tabla 2.4):

- Modelos orientados sólo a operadores
- Modelos orientados a operadores y clientes/usuarios finales.
- Modelos orientados a operadores y otros agentes.

2.4.3.1 Modelos orientados sólo a operadores

En la literatura, [OLS96], [JAN00], [SMU05], [OLS06], [MON05], [PF09], [MER09], [ZAG10], [PER07], [VER10], [FEI11], [MCF11], [WEE12], [PEC13] se encuentran orientados al despliegue de tecnologías de acceso por parte de los operadores de telecomunicación. Esta orientación se produce de manera natural, dado el impacto en la cuenta de resultados de los operadores debido al elevado volumen de inversión CapEx y de gastos de operación OpEx que requieren las redes de acceso (el ya mencionado *'last mile' problem*).

2.4.3.2 Modelos orientados a operadores y clientes/usuarios finales

Sólo [PER07] y [PF09] contemplan como parámetros generales de entrada el ancho de banda promedio requerido por el usuario en emisión y recepción, de manera adicional a la perspectiva del operador en el despliegue de redes de acceso. [PER07] contempla además QoS y factor de concurrencia en hora pico para los usuarios finales. [FEI11] proporciona resultados de coste para diferentes valores de Caudal de Datos Garantizado por Usuario (Guaranteed Data Rate per User).

2.4.3.3 Modelos orientados a operadores y otros agentes

[VER10] contempla a las autoridades regulatorias en la Unión Europea adicionalmente a la perspectiva de los operadores de cara al despliegue de redes de acceso. [PEC13] añade una orientación expresa a los Inversores / Prestamistas de cara a comparar las diferentes estrategias del capital, sin olvidar la perspectiva de los operadores de telecomunicaciones en el despliegue de redes de acceso.

Universalidad en la orientación a usuario			
	Orientados a Operadores (KPIs de despliegue)	Orientados a Clientes (KPIs de uso)	Orientados a otros agentes
Olsen et al. [OLS96]. TITAN (1996)	SI	NO	NO
Jankovich et al. [JAN00]. EURESCOM (2000)	SI	NO	NO
Smura [SMU05]. Sólo WiMAX. TONIC & ECOSYS (2005)	SI	NO	NO
Olsen et al. ECOSYS [OLS06] (2006)	SI	NO	NO

Monath et al. [MON05]. MUSE (2005)	SI	NO	NO
Pereira & Ferreira [PF09] (2009)	SI	Required Avg. Bandwidth (Upstream and Downstream)	NO
Van der Merwe et al. [MER09]. Sólo FTTH (2009)	SI	NO	NO
Zagar et al. [ZAG10] (Banda Ancha rural en Croacia) (2010)	SI	NO	NO
Pereira [PER07] (2007)	SI	Required Avg. Bandwidth (Upstream and Downstream), QoS, Concurrency factor	NO
Vergara et al. [VER10]. Modelo COSTA (2010)	SI	NO	EU Regulation Authorities
Feijoo et al. [FEI11]. RURAL (2011)	SI	Guaranteed Data Rate per User	NO
Martin et al. [MCF11]. Sólo HFC (2011)	SI	NO	NO
Van der Wee et al. [WEE12]. Sólo FTTH. OASE (2012)	SI	NO	NO
Pecur [PEC13] FiWi (2013)	SI	NO	Investors / Lenders

Tabla 2.4: Análisis de la literatura en base a la característica Universalidad en la orientación a usuario.

2.4.4 Universalidad en la incorporación de aproximaciones “micro” y “macro”

El autor Economides afirma en “La Economía de las Redes” [ECO96]: “Distinguimos entre resultados que no dependen de la microestructura industrial subyacente (aproximación “macro”) y resultados que sí dependen (aproximación “micro”)”.

En el marco de la presente investigación se denomina enfoque o aproximación “micro” a aquella que parte de lo particular a lo general (‘bottom-up’) desde la perspectiva del usuario final, y enfoque o aproximación “macro” a aquella que parte de lo general a lo particular (‘top-down’), desde la perspectiva del despliegue de una red de acceso por parte del operador, partiendo de las características del área geográfica a cubrir.

Se puede decir que, al contemplar la perspectiva del cliente o usuario final de la tecnología, se requiere un enfoque o aproximación “micro” (‘bottom-up’) en el análisis técnico-económico de tecnologías de acceso, dependiendo los resultados de la microestructura de la red de acceso, tal y como se establece en la anterior afirmación de Economides [ECO96][DIS13].

En cambio, la perspectiva de los operadores de cara a realizar la evaluación de la viabilidad económica del despliegue de la tecnología de acceso en un área geográfica determinada, se realiza partiendo de lo general a lo particular (‘top-down’), es decir, con un enfoque o aproximación “macro”, considerando aspectos externos a la microestructura de la red de acceso, como es el área geográfica a cubrir, pero que en el caso de las redes de acceso, sí condicionan los resultados, contradiciendo la mencionada afirmación de Economides [ECO96][DIS13]

Se comprueba en el análisis de modelos de la literatura que todos los modelos de evaluación tecno-económica de tecnologías de acceso incorporan la aproximación “macro”, adoleciendo de la aproximación “micro” desde la perspectiva del cliente o usuario final. En la literatura se menciona el término aproximación ‘bottom-up’ para los análisis detallados de costes desde la perspectiva de los componentes que integran el acceso, pero sin llegar a incorporar la perspectiva del usuario final [LWG88][OLS06].

2.4.5 Orientación a Requisitos de Usuario del modelo

Un modelo técnico-económico universal y generalizable ha de contemplar los Requisitos Técnicos y Económicos del Usuario del modelo sea éste cliente, operador, regulador o cualquier otro agente, de cara a valorar técnica y económicamente las tecnologías de acceso.

La revisión de la literatura permite distinguir (Ver Tabla 2.5):

- Modelos que incorporan Requisitos Técnicos del usuario del modelo
- Modelos que incorporan Requisitos Económicos del usuario del modelo

2.4.5.1 Modelos que incorporan Requisitos Técnicos del usuario del modelo

En la literatura, sólo [PER07] y [PF09], contemplan como requisitos de entrada el ancho de banda promedio requerido por el usuario en emisión y recepción. En [PER07] contempla además la calidad de servicio QoS. [FEI11] contempla el Guaranteed Data Rate per User (el Caudal de Datos Garantizado por Usuario).

2.4.5.2 Modelos que incorporan Requisitos Económicos del usuario del modelo

En la literatura no se especifican Requisitos Económicos del usuario del modelo. Se puede entender que todos los modelos tratan de maximizar los ingresos y minimizar los costes OpEx y la inversión CapEx, maximizando el Valor Neto Presente (NPV: Net Present Value) y la IRR (Internal Rate of Return) permitiendo utilizar este criterio como comparativa entre modelos.

Orientación a Requisitos de Usuario del modelo		
	Requisitos de usuario del modelo (Rangos económicos)	Requisitos de usuario del modelo (Rangos técnicos)
Olsen et al. [OLS96]. TITAN (1996)	No	No
Jankovich et al. [JAN00]. EURESCOM (2000)	No	No
Smura [SMU05]. Sólo WiMAX. TONIC & ECOSYS (2005)	No	No
Olsen et al. ECOSYS [OLS06] (2006)	No	No
Monath et al. [MON05]. MUSE (2005)	No	No
Pereira & Ferreira [PF09] (2009)	No	Sólo en BW
Van der Merwe et al. [MER09]. Sólo FTTH (2009)	No	No
Zagar et al. [ZAG10] (Banda Ancha rural en Croacia) (2010)	No	No
Pereira [PER07] (2007)	No	BW, QoS
Vergara et al. [VER10]. Modelo COSTA (2010)	No	No
Feijoo et al. [FEI11]. RURAL (2011)	No	Guaranteed Data Rate per User
Martin et al. [MCF11]. Sólo HFC (2011)	No	No
Van der Wee et al. [WEE12]. Sólo FTTH. OASE (2012)	No	No
Pecur [PEC13] FiWi (2013)	No	No

Tabla 2.5: Análisis de la literatura en base a la característica Orientación a Requisitos de Usuario del modelo

2.4.6 Universalidad geográfica

Un modelo tecno-económico universal y generalizable de comparación de tecnologías de acceso ha de permitir su aplicación en cualquier área geográfica o geotipo sea cual sea su densidad de población, segmentos de población (hogares, empresas) y distribución de la misma.

Como ya se ha comprobado en el apartado 2.4.3, todos los modelos se hallan orientados al despliegue de las tecnologías de acceso por parte de los operadores de telecomunicaciones. De ahí que todos los modelos tecno-económicos analizados, contemplan la descripción del área geográfica a cubrir y la descripción de la situación de las infraestructuras existentes (conducciones/cobre). La mayor parte de los modelos analizados en la literatura permiten también la descripción del mix de población (Residencial, PYMES, Grandes Empresas - GGEE -), con la excepción de [OLS96] y [JAN00]. [PF09] y [PER07] distinguen también el número de usuarios en movilidad en el área de cobertura.

2.4.7 Universalidad Técnica y Económica

Un modelo tecno-económico universal y generalizable de comparación de tecnologías de acceso ha de proporcionar universalidad técnica y económica, es decir, ha de incorporar parámetros de entrada y parámetros de salida técnicos y económicos a fin de permitir una valoración tanto técnica como económica de las diferentes tecnologías de acceso.

A efectos de la evaluación tecno-económica de tecnologías de acceso, interesan los parámetros de entrada/salida económicos, y los parámetros de entrada/salida técnicos relacionados con las prestaciones técnicas de la tecnología de acceso, que son los que se contemplan en el presente estudio. Existen otros parámetros de entrada/salida técnicos relacionados con el marketing o mercadotecnia, utilizados por la mayor parte los modelos de la literatura, fruto de su orientación hacia el despliegue de redes de acceso desde la perspectiva del operador, como por ejemplo, la tasa de penetración de una tecnología de acceso en el mercado, que no se detallan en el presente documento por no ser objeto de la presente investigación.

Respecto a los parámetros económicos pueden distinguirse entre parámetros relacionados con los ingresos (ej.: tarifas), gastos (inversión CapEx, operación OpEx) y financieros (ej.: tipo de interés, inflación, NPV, Flujo de Caja).

A continuación se procede a mostrar el estudio de parámetros de entrada y el estudio de parámetros de salida de los modelos de la literatura.

2.4.7.1 Estudio de modelos en base a los parámetros de entrada

Al realizar el estudio de modelos tecno-económicos en base a los parámetros de entrada, se comprueba que todos los modelos utilizan parámetros de entrada

económicos, y se distinguen en función de si contemplan o no parámetros de entrada técnicos (Ver Tabla 2.6):

- Modelos con parámetros de entrada técnicos y económicos: veremos que son más de la mitad de la muestra de la literatura, aunque la mayoría utilizan muy pocos parámetros de entrada técnicos, y un abanico más amplio de parámetros de entrada económicos.
- Modelos con parámetros de entrada sólo económicos: que conforman el resto de la muestra analizada.

A- Modelos con parámetros de entrada técnicos y económicos

[SMU05] incluye como parámetros de entrada técnicos la banda de frecuencia, atenuación y ganancia del sistema, y utiliza como parámetros de entrada económicos el precio de los equipos, las tarifas de los servicios, el ARPU, los costes OAM y el tipo de interés (discount rate).

[OLS06] incluye como parámetros de entrada técnicos los servicios a prestar, la arquitectura de las redes de acceso, una base de datos de componentes, un modelo radio para tecnologías inalámbricas, y un modelo geométrico. [OLS06] incorpora como parámetros de entrada económicos, el coste de los componentes, las tarifas, los costes OAM y la evolución de los costes (OAM Class & Volume Class for Costs Evolution).

[MON05] trabaja con los mismos parámetros de entrada técnicos que [OLS06], a excepción del modelo radio, al aplicarse sólo a tecnologías de acceso fijas. Como parámetros de entrada económicos, usa el coste de los componentes, los costes OAM y las tarifas.

[PF09] incluye como parámetros técnicos de entrada, los componentes de la arquitectura de la red de acceso (planta interna, planta externa, cableado – feeder -), un modelo geométrico para las redes con cableado, y características del servicio (ancho de banda ascendente promedio y ancho de banda descendente promedio), y como parámetros de entrada económicos, incorpora la cuota de instalación y la cuota mensual de suscripción al servicio así como el tipo de interés.

[MER09] contempla parámetros técnicos de entrada relacionados con el diseño de las tecnologías de acceso FTTH: GPON, AON/AE y P2P (longitud de conducciones en la sección de alimentación y distribución, longitud de fibra en la sección de alimentación y distribución, nº centrales necesarias, nº cabinas de exterior, nº unidades multi-dwelling). Como parámetros de entrada económicos, contempla los costes de los componentes distinguiendo entre CapEx y OpEx. Los denomina el libro de precios de inversiones (CapEx Price book) y el libro de precios de gastos (OpEx Price book).

[ZAG10] incorpora como parámetro de entrada técnico la distancia al punto de presencia. Como parámetros de entrada económicos utiliza también los costes de los componentes distinguiendo entre CapEx y OpEx.

[PER07], en cuanto a los parámetros técnicos, distingue entre dos capas: CAPA1 con la definición de los servicios a ofrecer (ancho de banda ascendente y descendente por usuario, QoS, concurrencia durante horas pico) y CAPA 2 con los parámetros de entrada específicos para cada tecnología de acceso (nº módems, nº cabinas, nº unidades de red ópticas ONUs, nº estaciones base, longitud del cableado, etc.). Incorpora parámetros económicos de entrada en la denominada CAPA 1, en la definición de servicios (parámetros comerciales, cuotas de instalación y mensuales), así como las bases de datos de CapEx y OpEx de los componentes.

[PEC13] contempla como parámetros técnicos de entrada, el ancho de banda, mix de tráfico y el backhauling (enlace al nodo de acceso) de los puntos de acceso inalámbricos / estaciones base, etc. Incluye parámetros económicos de entrada financieros (inflación, planes de inversión, tipos de interés, perspectivas económicas, etc.), relacionados con el cliente (cuota mensual, ciclo de facturación, etc.), CapEx (costes de equipos, tipos de interés, etc.), OpEx (salarios, telehousing, truck rolls, llamadas de soporte, etc.) y otros (retirada de equipos, outlet de equipos, etc.)

B- Modelos con parámetros de entrada sólo económicos

Como puede comprobarse en la Tabla 2.6, [OLS96] incorpora como parámetros de entrada económicos el coste de los componentes (obra civil, cableado, armarios, electrónica, componentes pasivos, instalación) y los costes de Operación, Administración y Mantenimiento OAM. Utiliza también las tarifas como parámetro de entrada para calcular los ingresos a partir de la estimación de la penetración de los servicios, utilizando el Método Delphi o panel de expertos, y multiplicándola por las tarifas.

[JAN00] utiliza como parámetros de entrada económicos el precio de los elementos de red, la evolución de precios, los costes OAM, y también considera los ingresos contemplando como parámetro de entrada las tarifas de los operadores.

Por otro lado, [VER10] incorpora como parámetros de entrada económicos CapEx y OpEx, señalando que utiliza listas de precios públicas de componentes para el CapEx y que los costes de operación OpEx los estima como un porcentaje del CapEx. Se trata de un modelo de análisis de costes que no contempla los ingresos.

[FEI11] utiliza también como parámetros de entrada económicos CapEx y OpEx, al igual que [MCF11], mencionando como fuentes los precios públicos de los componentes o elementos de red, sin contemplar los ingresos.

[WEE12] menciona como parámetros de entrada los costes de los componentes (CapEx), OpEx y la extensión del modelo incorporando los ingresos.

2.4.7.2 Estudio de modelos en base a los parámetros de salida

En la revisión de la literatura, tras estudiar los modelos en base a los parámetros de salida, se comprueba (Tabla 2.6) que todos los modelos de la literatura presentan parámetros de salida sólo económicos, sin que ninguno de ellos proporcione parámetros de salida técnicos, ni realice valoración alguna de las prestaciones técnicas de las tecnologías de acceso.

[OLS96] utiliza los parámetros económicos de salida Valor Neto Presente (NPV), la tasa interna de retorno (IRR), el coste de primera instalación (IFC), el Flujo de Caja (Cashflow), la inversión (CapEx) y el coste por conexión.

[JAN00], [SMU05], [OLS06], [MON05], [MER09], [ZAG10], [PER07], [VER10], [PEC13] proporcionan parámetros de salida sólo económicos siendo el Valor Neto Presente (NPV: Net Present Value) el utilizado por todos ellos.

Como puede comprobarse en la Tabla 2.6, [JAN00] además aporta el Coste (Cost), los Ingresos (Income) y el Beneficio (Profit). [SMU05] añade al NPV los costes de operación (OpEx), la inversión (CapEx), la tasa interna de retorno TIR (IRR: Internal Rate of Return) y el período de amortización (Payback Period). [OLS06] añade a los parámetros de salida de [JAN00] y [SMU05], el Coste de Ciclo de Vida (Life Cycle Cost). [MON05] añade a los parámetros de salida de [JAN00] y [SMU05], el Coste de Primera Instalación (Installed First Cost).

[PF09] utiliza el parámetro económico de salida Valor Neto Presente (NPV) y además la Tasa Interna de Retorno TIR (IRR: Internal Rate of Return), Coste de Primera Instalación (IFC: Installed First Cost), el balance de caja (Cash balance), la inversión (CapEx), el coste (OpEx) por usuario y el coste por hogar pasado.

[MER09] incorpora inversión por cliente y año (CapEx per subscriber and year) y costes de operación por cliente y año (OpEx per subscriber and year), así como el desglose de inversión (CapEx) distinguiendo entre hardware activo de red, hardware pasivo de red y Obra Civil e Instalación. Incluye también el desglose en costes de operación distinguiendo entre costes de operación fijos y variables.

[ZAG10] utiliza como parámetros de salida Valor Neto Presente (NPV), Período de Amortización (Payback Period) y tasa interna de retorno TIR (IRR).

El autor Pereira en [PER07] añade a los parámetros de salida económicos de [JAN00], [SMU05] y [MER09], los ingresos medios por usuario (ARPU: Average Revenue per User), el coste por hogar pasado (Cost per home passed), el coste por Mbps, el coste de operación, administración y mantenimiento (OAM cost), el coste de instalación y el balance de caja (Cash Balance).

El modelo COSTA [VER10] utiliza el coste mensual por usuario para diferentes tasas de adopción (take-up rates), CapEx, CapEx por hogar pasado, CapEx por cliente, OpEx, tasa interna de retorno TIR (IRR) y NPV para un período de tiempo bajo circunstancias estáticas.

[FEI11] proporciona los parámetros económicos de salida: Valor Neto Presente de inversión CapEx, costes de operación OpEx, por usuario, por geotipo, para una tasa de

penetración determinada, para un determinado caudal de datos garantizado por usuario y por geotipo.

[MCF11] proporciona el Valor Presente del CapEx total por zona, el Valor Presente del Opex total por zona, el Valor Presente del CapEx total por usuario, y el Valor Presente del Opex total por usuario.

[WEE12] añade al Valor Neto Presente, la tasa interna de retorno TIR (IRR), el coste de despliegue, el coste por cliente en función de los puntos de flexibilidad de la red de acceso FTTH i.e: cabinas en calle (street cabinets), cabinas de empalme (patch cabinets), y de la densidad de clientes.

[PEC13] utiliza el margen neto de beneficio a 5 años para inversores distinguiendo entre invertir el capital o prestarlo (investing vs. lending).

	Universalidad Técnica y Económica			
	Parámetros de Entrada		Parámetros de Salida	
	Técnicos	Económicos	Técnicos	Económicos
Olsen et al. [OLS96]. TITAN (1996)		Components cost (civil work, cable, enclosures, electronics, passivecomp., installation), OAM Costs, Tariffs		NPV, IRR, IFC, Cashflow, CapEx, Cost per connection
Jankovich et al. [JAN00]. EURESCOM (2000)		Network element prices, price evolution, OA&M Costs, Services revenues and tariffs		Cost, income, profit, NPV
Smura [SMU05]. Sólo WiMAX. TONIC & ECOSYS (2005)	Frequency band, Path Loss, System gain	Equipment prices, Service tariffs, ARPU, OAM Costs, Discount rate		NPV, OpEx, CapEx, IRR, Payback period
Olsen et al. ECOSYS [OLS06] (2006)	Services, Architecture, Radio model, Components database	Components cost, Tariffs, OAM Class & Volume Class for Costs Evolution		NPV, Payback period, IRR, Revenues, Cash Flow, Profit, CapEx, OpEx, Life Cycle Cost
Monath et al. [MON05]. MUSE (2005)	Services, Architecture, Components database, Geometric model	Components cost, OAM Costs, Tariffs		NPV, IRR, Payback period, IFC, CapEx, Revenues, Cash flow, Profit
Pereira & Ferreira [PF09] (2009)	Access network architecture components (inside plant, outside plant, feeder), Geometric model	Pricing: one time activation/connection fee (€), subscription fee (€/month), Discount rate		Cost per user, Cost per homes passed, Payback period, NPV, IRR, Cash balance, CAPEX, OPEX

	for feeder networks, Service characteristics (Avg. Downstream and Upstream bandwidth)			
Van der Merwe et al. [MER09]. Sólo FTTH (2009)	GPON design, AON/AE design, P2P design	CapEx Price book, OpEx Price book		CapEx, OpEx, CapEx per subscriber and year, OpEx per subscriber and year, CapEx breakup, OpEx breakup
Zagar et al. [ZAG10] (Banda Ancha rural en Croacia) (2010)	Distance from user to PoP	Component Costs (CapEx, OpEx)		NPV, Payback Period (PP), IRR
Pereira [PER07] (2007)	LAYER 1: Definition of services to be offered (bandwidth in SLA, QoS, Concurrency during peak hour). LAYER2: Specific input parameters for Access Technology	LAYER 1: Definition of services (commercial parameters, Activation and monthly fees), CapEx DB, OpEx DB		CAPEX; OPEX; Subscriber costs; ARPU: Average Revenue Per User; Cost per subscriber; Cost per home passed; Mbps cost; OAM costs; Installation cost; Net Present Value (NPV); Internal Rate of Return (IRR); Payback Period; Revenues; Investments; Life Cycle Cost; Cash balance.
Vergara et al. [VER10]. Modelo COSTA (2010)		CapEx public price lists, Component costs (CapEx and OpEx as a % of CapEx)		Monthly cost per user for different take-up rates, total CAPEX, CAPEX per home passed, CAPEX per home connected, CAPEX per customer, OPEX, Internal Rate of Return (IRR) and Net Present Value for a period of time under static circumstances.
Feijoo et al. [FEI11]. RURAL (2011)		Network Element Public Prices		CapEx, OpEx, per user, by geotype, for a given penetration, Cost for a given guaranteed data rate per user by geotype

Martin et al. [MCF11]. Sólo HFC (2011)		Network Element Public Prices	Present Value of Total CapEx by zone, Present Value of Total OpEx by Zone, Present Value of Total CapEx per user, Present Value of Total Cost per User
Van der Wee et al. [WEE12]. Sólo FTTH. OASE (2012)		Component Revenues	NPV, IRR, Cost rollout, Cost per customer as function of flexibility points or customer density
Pecur [PEC13] FiWi (2013)	back-end Internet bandwidth, traffic mix, backhauling of access points / base stations, etc.), bandwidth per customer	financial (inflation, investment schedules, interest rates, economic outlook, etc.), customer related (subscription charge, billing cycle, etc.), CAPEX (equipment costs, discounts, etc.), OPEX (salaries, telehousing, truck rolls, support calls, etc.), salvage (removal of equipment, end-of-life sale, etc.)	Net Profit Margin 5 years investing vs. lending

Tabla 2.6: Análisis de la literatura en base a los parámetros de entrada y salida técnicos y económicos a fin de evaluar la característica Universalidad técnica y económica

2.4.8 Extensibilidad y flexibilidad

Un modelo técnico-económico universal y generalizable ha de ser extensible y flexible de tal manera que proporcione facilidad para añadir nuevos parámetros de entrada y salida contribuyendo a su universalidad.

El análisis de la literatura se ha realizado considerando:

- Flexibilidad para nuevos parámetros de entrada: En la literatura no se identifica ningún modelo que permita añadir de manera flexible y sencilla nuevos parámetros de entrada.
- Flexibilidad para nuevos parámetros de salida: no se identifican modelos que permitan añadir de manera flexible y sencilla nuevos parámetros de salida.

Dado que ningún modelo aporta flexibilidad en la adición de parámetros de entrada y/o salida, se concluye que ninguno es extensible.

2.4.9 Comparabilidad técnica y económica

Un modelo técnico-económico universal y generalizable ha de ser comparable, i.e.: ha de permitir la comparación de sus resultados técnicos y de sus resultados económicos con otros modelos.

En la revisión de la literatura se distingue:

- Comparabilidad resultados técnicos: como ya vimos en el apartado anterior, [OLS96] aportaba tasa de penetración en el mercado residencial, y [PF09] y [FEI11] análisis de sensibilidad no comparables, con lo que se concluye que no se encuentra en la literatura modelo alguno que permita comparar los resultados técnicos.
- Comparabilidad resultados económicos: Todos los modelos técnico-económicos de la literatura aportan la posibilidad de comparar los resultados económicos como mínimo en base al parámetro de salida Valor Neto Presente común en la mayoría de ellos.[MER09] no incorpora como parámetro de salida el Valor Neto Presente pero sí CapEx y OpEx cuyos resultados pueden ser comparados con otros modelos que también disponen de dichos parámetros de salida. [PEC13] incorpora el margen de beneficio neto (Net Profit Margin) que también puede ser comparado con otros modelos deduciendo dicho margen a partir de ingresos, gastos e inversiones.

2.4.10 Característica Predictiva

Un modelo técnico-económico universal y generalizable ha de permitir incorporar y realizar predicciones en un período de tiempo determinado.

El análisis de la literatura distingue (Ver Tabla 2.7):

- Modelos que incorporan un período de estudio como parámetro de entrada.
- Modelos que permiten parámetros de entrada con predicción temporal
- Modelos que realizan predicción temporal en parámetros de salida.

2.4.10.1 Modelos que incorporan un período de estudio como parámetro de entrada

En la literatura, todas las referencias a excepción de [MER09], que no lo menciona expresamente, incluyen un período de estudio como parámetro de entrada para el análisis técnico-económico. Veremos en los apartados posteriores que aunque [MER09] no lo menciona expresamente, ha de considerarlo, dado que contempla la evolución temporal de precios como parámetro de entrada e incorpora CapEx y OpEx por año como parámetros de salida.

2.4.10.2 Modelos que permiten parámetros de entrada con predicción temporal

Como puede comprobarse en el análisis de la literatura (Ver Tabla 2.7), [OLS96] incorpora predicción de tasa de penetración basada en método Delphi de encuestas a expertos (panel de expertos). [JAN00] incorpora también predicción de tasa de penetración. [SMU05] añade además la evolución de precios de equipos. [OLS06] añade evolución de costes de OAM y precios de equipos. [MON05] incluye la evolución de costes de OAM y costes de componentes. [PF09] utiliza la tendencia (% anual) de evolución de las características de área geográfica (hogares, densidad de población, nº de clientes residenciales, PYMES, usuarios en movilidad) así como las características del servicio (ancho de banda medio en recepción y emisión) y la evolución de precios (tarifa de instalación y cuota mensual del servicio). [MER09] parece incluir la evolución de precios aunque no lo menciona. [ZAG10], [FEI11], [MCF11] y [WEE12] utilizan la evolución de precios. [PER07] menciona además la evolución de la productividad. [VER10] incluye la evolución de precios que utiliza como referencia para el cálculo del CapEx.

2.3.10.3 Modelos que realizan predicción temporal en parámetros de salida.

Los modelos tecno-económicos de la literatura realizan predicción temporal en los parámetros de salida económicos coincidiendo la mayoría en la predicción del Valor Neto Presente (Net Present Value) evaluado en un período de tiempo determinado (Ver Tabla 2.7) . [OLS96] incluye además predicción del Coste de Primera Instalación de la red (IFC: Installed First Cost), Flujo de Caja y coste por conexión. [JAN00] añade la predicción de costes e ingresos. [SMU05] y [OLS06] sólo predicen el NPV. [MON05] añade la predicción de ingresos, beneficio, CapEx y OpEx. [PF09] incluye además la Tasa Interna de Retorno (IRR), CapEx, OpEx y el coste por cliente. [MER09] proporciona CapEx y OpEx pero no menciona el NPV. [ZAG10] incluye NPV, IRR y el período de amortización. [PER07] proporciona CapEx, OpEx, costes por cliente, ARPU, Coste por hogar pasado, Coste por unidad de ancho de banda (Mbps), costes de OAM, coste de Instalación, NPV, IRR, período de amortización, ingresos, inversiones, Life Cycle Cost y Cash Balance. [VER10] incluye el coste mensual por usuario para diferentes tasas de adopción, CapEx, CapEx por hogar pasado, CapEx por hogar conectado, CapEx por cliente, OpEx, IRR y NPV para un período de tiempo bajo circunstancias estáticas.

[FEI11] utiliza predicción en salida para CapEx, OpEx, por usuario, por geotipo, para una tasa de penetración dada, NPV, coste para un ancho de banda garantizado por usuario y por geotipo. [MCF11] incluye el valor presente del CapEx total por zona, valor presente del OpEx total por zona, por usuario y el valor presente del coste total por usuario. [WEE12] utiliza NPV, IRR, Coste de despliegue, Coste por cliente en función de los puntos de flexibilidad o de la densidad de clientes. [PEC13] proporciona el Margen de Beneficio Neto.

Capacidad Predictiva			
	Período de estudio como parámetro de entrada	Permite parámetros de entrada con predicción temporal	Realiza predicción temporal en parámetros de salida
Olsen et al. [OLS96]. TITAN (1996)	SI	Service penetration forecasting based on Delphi survey	NPV, IFC, Cash Flow, Cost per connection
Jankovich et al. [JAN00]. EURESCOM (2000)	SI	Service penetration forecasting	Cost, income, profit, NPV
Smura [SMU05]. Sólo WiMAX. TONIC & ECOSYS (2005)	SI	Service penetration, Equipment price evolution	NPV
Olsen et al. ECOSYS [OLS06] (2006)	SI	Service penetration, OAM Class and Volume Class for Equipment price and OAM Costs Evolution	NPV
Monath et al. [MON05]. MUSE (2005)	SI	Components cost evolution, OAM costs evolution	NPV, Revenues, Profit, CapEx, OpEx
Pereira & Ferreira [PF09] (2009)	SI	Trend (% per year) for Geographical area characteristics (Households, Population, HH/km2, Nr of residential subscribers, SME, Nomadic users) Service characteristics (Avg. Downstream and Upstream bandwidth) and Pricing (one time connection fee and subscription fee)	NPV, IRR, CapEx, OpEx, Cost per subscriber
Van der Merwe et al. [MER09]. Sólo FTTH (2009)	Not mentioned	Price evolution (although not mentioned)	CapEx, OpEx (although not mentioned)
Zagar et al. [ZAG10] (Banda Ancha rural en Croacia) (2010)	SI	Price evolution	NPV, IRR, Payback Period
Pereira [PER07] (2007)	SI	Price evolution, Productivity evolution	CAPEX; OPEX; Subscriber costs; ARPU: Average Revenue Per User; Cost per subscriber; Cost per home

			passed; Mbps cost; OAM costs; Installation cost; Net Present Value (NPV); Internal Rate of Return (IRR); Payback Period; Revenues; Investments; Life Cycle Cost; Cash balance.
Vergara et al. [VER10]. Modelo COSTA (2010)	SI	Price Evolution (CapEx)	Monthly cost per user for different take-up rates, total CAPEX, CAPEX per home passed, CAPEX per home connected, CAPEX per customer, OPEX, Internal Rate of Return (IRR) and Net Present Value for a period of time under static circumstances.
Feijoo et al. [FEI11]. RURAL (2011)	SI	Price Evolution	CapEx, OpEx, per user, by geotype, for a given penetration, NPV, Cost for a given guaranteed data rate per user by geotype
Martin et al. [MCF11]. Sólo HFC (2011)	SI	Price Evolution	Present Value of Total CapEx by zone, Present Value of Total OpEx by Zone, Present Value of Total CapEx per user, Present Value of Total Cost per User
Van der Wee et al. [WEE12]. Sólo FTTH. OASE (2012)	SI	Price evolution	NPV, IRR, Cost rollout, Cost per customer as function of flexibility points or customer density
Pecur [PEC13] FiWi (2013)	5 years	NO	Net Profit Margin

Tabla 2.7: Análisis de la literatura en base a la característica predictiva.

2.4.11 Capacidad de Integración con otros modelos

Un modelo técnico-económico universal y generalizable ha de permitir la integración con otros modelos técnico-económicos para favorecer las sinergias entre modelos, que permitan aprovechar las fortalezas de cada uno.

En la literatura se han identificado algunos modelos que integran como entrada la salida de otro modelo. [SMU05] menciona la incorporación en entrada de un modelo de pérdidas multitrayecto para WiMAX (Path Loss Model). [OLS06] menciona un modelo radio (Radio model), un modelo OAM Class & Volume Class for Price evolution, así como estadísticas o encuestas para estimar la tasa de penetración en el mercado. [MON05] habla de un modelo geométrico, un modelo de evolución de costes de componentes y de la evolución de los costes de Operación, Administración y Mantenimiento (OAM). En algún caso se trata de submodelos inherentes al propio modelo y en otros casos se trata de herencias procedentes de un modelo anterior.

Sin embargo, no se han encontrado modelos en la literatura cuya lógica permita incorporar por defecto cualesquiera parámetros de otros modelos.

Capacidad de Integración con otros modelos		
	Permite integrar como entrada la salida de otro modelo	La lógica del modelo permite incorporar por defecto parámetros de otros modelos
Olsen et al. [OLS96]. TITAN (1996)	NO	NO
Jankovich et al. [JAN00]. EURESCOM (2000)	NO	NO
Smura [SMU05]. Sólo WiMAX. TONIC & ECOSYS (2005)	Menciona Path Loss Model	NO
Olsen et al. ECOSYS [OLS06] (2006)	Radio model, OAM Class & Volume Class for price evolution model, Statistics or surveys for market penetration	NO
Monath et al. [MON05]. MUSE (2005)	Geometric model, Components cost evolution, OAM costs evolution	NO
Pereira & Ferreira [PF09] (2009)	NO	NO
Van der Merwe et al. [MER09]. Sólo FTTH (2009)	NO	NO
Zagar et al. [ZAG10] (Banda Ancha rural en Croacia) (2010)	NO	NO
Pereira [PER07] (2007)	NO	NO

Vergara et al. [VER10]. Modelo COSTA (2010)	NO	NO
Feijoo et al. [FEI11]. RURAL (2011)	NO	NO
Martin et al. [MCF11]. Sólo HFC (2011)	NO	NO
Van der Wee et al. [WEE12]. Sólo FTTH. OASE (2012)	NO	NO
Pecur [PEC13] FiWi (2013)	NO	NO

Tabla 2.8: Análisis de la literatura en base a la capacidad de integración de cada modelo con otros modelos.

2.5 Valoración global y ranking

Con el fin de poder valorar para cada modelo de la literatura el grado de cumplimiento del conjunto de características que se considera ha de tener un modelo técnico-económico universal, escalable, flexible y generalizable, se sigue el siguiente método, considerando, por simplicidad, que todos los ítems tienen el mismo peso:

- Se concede valor 1 para cada columna (ítem) de las matrices mencionadas en las que se detecta cumplimiento de cada modelo y valor 0 en caso de incumplimiento.
- Se calcula la valoración de cada característica como la suma total de valores de las columnas (ítems) de la misma.
- La valoración total para cada modelo resulta de la suma de valoraciones del total de características

El resultado se muestra en la Tabla 2.9. Normalizando para cada característica en base 100, se obtiene el grado de cumplimiento de cada modelo de la literatura con respecto a la máxima puntuación posible en la Tabla 2.10.

	Universalidad Multiacceso	Universalidad en Combinación de tecnologías de acceso	Universalidad en la orientación a usuario	Universalidad en la incorporación de aproximaciones "micro" y "macro"	Orientación a Requisitos de Usuario del modelo	Universalidad geográfica	Universalidad Técnica y Económica	Extensibilidad y Flexibilidad	Comparabilidad técnica y económica	Capacidad Predictiva	Capacidad de Integración con otros modelos	VALORACION
Máxima puntuación posible	3	4	3	2	2	1	4	2	2	3	2	25
Pereira & Ferreira [PF09] (2009)	3	1	2	1	1	1	3	0	1	3	0	16
Pereira [PER07] (2007)	3	0	2	1	1	1	3	0	1	3	0	15
Olsen et al. ECOSYS [OLS06] (2006)	2	1	1	1	0	1	3	0	1	3	1	14
Monath et al. [MON05]. MUSE (2005)	2	1	1	1	0	1	3	0	1	3	1	14
Feijoo et al. [FEI11]. RURAL (2011)	2	1	1	1	1	1	2	0	1	3	0	13
Vergara et al. [VER10]. Modelo COSTA (2010)	2	1	2	1	0	1	2	0	1	3	0	13
Olsen et al. [OLS96]. TITAN (1996)	1	2	1	1	0	1	2	0	1	3	0	12
Jankovich et al. [JAN00]. EURESCOM (2000)	2	1	1	1	0	1	2	0	1	3	0	12
Smura [SMU05]. Sólo WiMAX. TONIC & ECOSYS (2005)	1	0	1	1	0	1	3	0	1	3	1	12
Zagar et al. [ZAG10] (Banda Ancha rural en Croacia) (2010)	2	0	1	1	0	1	3	0	1	3	0	12
Pecur [PEC13] FiWi (2013)	3	1	0	1	0	1	3	0	1	2	0	12
Martin et al. [MCF11]. Sólo HFC (2011)	1	0	1	1	0	1	2	0	1	3	0	10
Van der Wee et al. [WEE12]. Sólo FTTH. OASE (2012)	1	0	1	1	0	1	2	0	1	3	0	10
Van der Merwe et al. [MER09]. Sólo FTTH (2009)	1	0	1	1	0	1	3	0	1	2	0	10

Tabla 2.9: Valoración y ranking de la literatura en función del grado de cumplimiento de las características de un modelo técnico-económico universal, generalizable, escalable y flexible.

	Universalidad Multiacceso	Universalidad en Combinación de tecnologías de acceso	Universalidad en la orientación a usuario	Universalidad en la incorporación de aproximaciones "micro" y "macro"	Orientación a Requisitos de Usuario del modelo	Universalidad Geográfica	Universalidad Técnica y Económica	Extensibilidad y Flexibilidad	Comparabilidad técnica y económica	Capacidad Predictiva	Capacidad de Integración con otros modelos	VALORACION	%CUMPLIMIENTO
Máxima puntuación posible	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1100	100%
Pereira & Ferreira [PF09] (2009)	100	25	67	50	50	100	75	0	50	100	0	617	56%
Pereira [PER07] (2007)	100	0	67	50	50	100	75	0	50	100	0	592	54%
Olsen et al. ECOSYS [OLS06] (2006)	67	25	34	50	0	100	75	0	50	100	50	551	50%
Monath et al. [MON05]. MUSE (2005)	67	25	34	50	0	100	75	0	50	100	50	551	50%
Feijoo et al. [FEI11]. RURAL (2011)	67	25	34	50	50	100	50	0	50	100	0	526	48%
Vergara et al. [VER10]. Modelo COSTA (2010)	67	25	67	50	0	100	50	0	50	100	0	509	46%
Olsen et al. [OLS96]. TITAN (1996)	34	50	34	50	0	100	50	0	50	100	0	468	43%
Jankovich et al. [JAN00]. EURESCOM (2000)	67	25	34	50	0	100	50	0	50	100	0	476	43%
Smura [SMU05]. Sólo WiMAX. TONIC & ECOSYS (2005)	34	0	34	50	0	100	75	0	50	100	50	493	45%
Zagar et al. [ZAG10] (Banda Ancha rural en Croacia) (2010)	67	0	34	50	0	100	75	0	50	100	0	476	43%
Pecur [PEC13] FiWi (2013)	100	25	0	50	0	100	75	0	50	67	0	467	42%
Martin et al. [MCF11]. Sólo HFC (2011)	34	0	34	50	0	100	50	0	50	100	0	418	38%
Van der Wee et al. [WEE12]. Sólo FTTH. OASE (2012)	34	0	34	50	0	100	50	0	50	100	0	418	38%
Van der Merwe et al. [MER09]. Sólo FTTH (2009)	34	0	34	50	0	100	75	0	50	67	0	410	37%

Tabla 2.10: Valoración y ranking de la literatura en función del grado de cumplimiento de las características de un modelo técnico-económico universal, generalizable, escalable y flexible (cumplimiento normalizado por característica en base 100).

La Tabla 2.10 se encuentra ordenada de mayor a menor valoración proporcionando el ranking de los modelos de la literatura desde el mayor al menor grado de cumplimiento de características.

La máxima puntuación corresponde a [PF09] con un cumplimiento de un 56%, identificando por tanto una laguna o gap de 44 puntos hasta el 100%, lo cual muestra la oportunidad de profundizar e investigar en el desarrollo de propuestas que alcancen un mayor grado de cumplimiento.

El ranking de modelos presentado en la Tabla 2.10 muestra, tomando como referencia el modelo [PF09] con mayor grado de cumplimiento, que el recorrido de mejora se concentra en las siguientes características:

- Universalidad en Combinación de tecnologías de acceso
- Universalidad en la Orientación a usuario
- Universalidad en la incorporación de aproximaciones “micro” y “macro”
- Orientación a Requisitos de usuario del modelo
- Universalidad Técnica y Económica
- Extensibilidad y Flexibilidad
- Comparabilidad Técnica y Económica
- Capacidad de integración con otros modelos

2.6 Conclusiones

En el presente capítulo de Estado del Arte, en base al objetivo principal de la tesis, se ha presentado:

- en el apartado 2.2 una evolución histórica de modelos técnico-económicos para tecnologías de acceso, incluyendo una revisión y análisis de la literatura y una cronología de proyectos con financiación pública de la UE que desarrollan y/o utilizan modelos de evaluación técnico-económica.
- en el apartado 2.3. se establecen las características de un modelo técnico-económico teórico universal, escalable, flexible y generalizable para tecnologías de acceso.
- en el apartado 2.4 se elabora una clasificación y análisis de los modelos técnico-económicos de la literatura, en base a las características del modelo técnico-económico universal y generalizable expuestas en el apartado 2.2.
- en el apartado 2.5 se realiza una valoración global y se presenta un ranking de los modelos técnico-económicos de la literatura en base a dicha clasificación.

Tras la revisión y clasificación de la literatura, se ha detectado que todos los modelos están orientados al despliegue desde la perspectiva del operador, y ninguno está orientado al usuario final, salvo algún guiño excepcional en [PF09] que incluye como parámetro de entrada el ancho de banda mínimo de emisión y recepción, y [PER07] que habla de QoS y factor de concurrencia. Todos incorporan la aproximación

“macro” desde la perspectiva de despliegue, pero ninguno incorpora la aproximación “micro” (perspectiva de usuario final).

Ningún modelo desarrolla y proporciona parámetros de salida técnicos, a excepción de BONE [KAN10] que sugiere un análisis de rendimiento de la red, pero no lo desarrolla; lo limita exclusivamente a la fiabilidad en el ámbito de las redes ópticas. Por ello, los modelos de la literatura no posibilitan la evaluación de las prestaciones técnicas de las tecnologías de acceso, careciendo de comparabilidad técnica, en línea con el concepto tradicional de modelo técnico-económico de Smura [SMU12].

Menos de la mitad de los modelos de la muestra utilizados para la clasificación en base a las características del modelo teórico, abordan una combinación serie de tecnologías fijas. Ningún modelo aborda la combinación paralelo de la misma o distintas tecnologías de acceso, de cara a incrementar las prestaciones técnicas equivalentes del acceso, a excepción de un ligero atisbo en [OLS96] con HFC (CATV) en paralelo con TPON. Ninguno contempla la combinación serie de tecnologías fijas + tecnologías inalámbricas, a excepción de [PF09] y [PEC13].

Ningún modelo desarrolla la incorporación de requisitos técnicos y económicos por parte del usuario del modelo. Existe algún ligero atisbo de incorporación de información de entrada en [PF09] (ancho de banda mínimo de emisión y recepción), en [PER07] (QoS y factor de concurrencia) y en [FEI11] que contempla el Guaranteed Data Rate per User (el Caudal de Datos Garantizado por Usuario). Sin embargo, ningún modelo desarrolla esta característica, incorporando, por ejemplo, un catálogo o matriz de requisitos técnicos y económicos, dado que se encuentran todos orientados al despliegue de tecnologías de acceso por parte de los operadores.

No se identifica ningún modelo que permita añadir de manera flexible y sencilla nuevos parámetros de entrada ni de salida, por lo que se concluye que no son flexibles ni extensibles, motivado por el hecho de que todos se concentran en la evaluación de la viabilidad económica.

Ningún modelo incluye en su lógica la incorporación por defecto de parámetros de otros modelos, limitando así su capacidad de integración con otros. Eso sí, todos tienen como objetivo evaluar la viabilidad económica.

Por tanto, la revisión, clasificación y análisis de la literatura expuesto en este capítulo de Estado del Arte, muestra que actualmente existe recorrido de cara a desarrollar modelos que cumplan las características de un modelo tecno-económico universal, flexible, generalizable y escalable que permita el análisis y comparación de tecnologías de acceso.

Según lo expuesto, tiene sentido profundizar e investigar en el desarrollo de modelos de evaluación técnico-económica de tecnologías de acceso que alcancen un mayor grado de cumplimiento global, y en cada una de las características, acercándose por tanto al modelo técnico-económico teórico universal y generalizable cuyas características se han definido.

Página dejada intencionadamente en blanco

Capítulo 5

VALIDACIÓN

En este capítulo se presentan resultados del modelo propuesto UTEM en diversos escenarios, y su validación cualitativa y cuantitativa de cara a verificar el grado de cumplimiento del doble objetivo de definir un modelo técnico-económico de aplicación universal, escalable, flexible y generalizable que permita la comparación de múltiples tecnologías de acceso en diferentes escenarios, y desarrollar una metodología de aplicación para el mismo.

El procedimiento de validación que se sigue es el siguiente:

- Validación cualitativa:
 - Validación funcional en base a las características del modelo técnico-económico teórico expuestas en el Capítulo Estado del Arte.
- Validación cuantitativa:
 - Validación cuantitativa en Escenarios de Aplicación Aislada del modelo
 - Validación cuantitativa en Escenarios de Aplicación Combinada del modelo.
 - Validación cuantitativa de la capacidad de predicción del modelo.
 - Validación cuantitativa de resultados del modelo con resultados de otros modelos

Se utilizan ambos puntos de vista cualitativo y cuantitativo con el fin de realizar una validación lo más completa posible.

En la validación cualitativa se valida funcionalmente el modelo propuesto con respecto al grado de cumplimiento de las características establecidas para el modelo técnico-económico teórico en el Capítulo Estado del Arte, comparándolo con el modelo de la literatura con mayor grado de cumplimiento de las mismas, según se desarrolla en el apartado 5.1 del presente Capítulo.

En el apartado 5.2 de validación cuantitativa se muestran los resultados del modelo en 9 escenarios que requieren la metodología de aplicación aislada del modelo: *ADSL*, *FTTH*, *WiMAX*, *4G-LTE*, *FTTH con router virtualizado*, *Línea dedicada punto a punto*, *Acceso redundante 2 x ADSL*, *ADSL en paralelo con WiMAX* y *punto de acceso WiFi IEEE 802.11g en modo agregado (sin respaldo)*, y *VDSL*. Se han seleccionado los escenarios mencionados de cara a disponer de una muestra representativa de las tecnologías de acceso actuales. Se ha incluido la línea dedicada punto a punto por hallarse relacionada con la motivación del presente trabajo de investigación [BU04],

y la tecnología FTTH con router virtualizado, dado que ya existen algunas pruebas piloto al respecto por parte de algunos operadores. Y se han añadido dos escenarios con redundancia homogénea y heterogénea, respectivamente.

Se presenta también en el apartado 5.2 un análisis comparativo de las 9 tecnologías de acceso mencionadas en 3 casos de requisitos de usuario de la tecnología: *A - Usuario tipo Residencial con ancho de banda mínimo en recepción de 30 Mb/s (Datos año 2015) según objetivos Agenda Digital Europea 2020 [DIG15], B – Usuario tipo PYME con ancho de banda mínimo en recepción de 300 Mb/s (Datos año 2015), C – Usuario tipo Residencial con ancho de banda mínimo en recepción de 2 Mb/s (Datos año 2006) según objetivos Agenda Digital Europea i2010 [IMO10].*

En el apartado 5.3 se demuestra para todo escenario que requiere la metodología de aplicación combinada del modelo (aproximación “macro”), que dado que los modelos de la literatura sólo proporcionan parámetros de salida económicos, los resultados de salida técnicos se obtienen utilizando el modelo con la metodología de aplicación aislada (aproximación “micro”), siguiendo los pasos expuestos en el Capítulo Metodología.

Así también, en el apartado 5.4 se realiza la validación cuantitativa de la capacidad de predicción del modelo contrastando sus resultados con la predicción de la firma de análisis Analysis Mason, mostrando que el período de saturación de la evolución de F2 en el tiempo para la tecnología FTTH corresponde a períodos de decisión de despliegue masivo por parte de los operadores de telecomunicaciones en 3 países europeos.

Respecto a la validación cuantitativa de resultados del modelo UTEM con resultados de otros modelos, que se desarrolla en el apartado 5.5 del presente Capítulo, cabe señalar que, dado que los modelos de la literatura no proporcionan resultados técnicos pero sí resultados económicos, los resultados económicos del modelo propuesto UTEM serán siempre coherentes con los resultados económicos de los modelos de la literatura, puesto que en los parámetros de salida económicos, el modelo UTEM utiliza una formulación universal - pongamos por ejemplo, la formulación del Valor Actual Neto VAN o NPV (Net Present Value) - idéntica a la formulación de dichos parámetros económicos en los modelos de la literatura. Por tanto, a igualdad de parámetros de entrada de Ingresos, CapEx y OpEx, el resultado será exactamente el mismo, quedando de esta manera validada y demostrada la hipótesis planteada para cualquier escenario.

5.1 Validación Cualitativa

La validación cualitativa se basa en la validación de la funcionalidad del modelo con el objetivo de verificar el grado de cumplimiento de las características que en el capítulo de Estado del Arte se establecieron para un modelo técnico-económico de aplicación universal, escalable, flexible y generalizable.

En la siguiente tabla se reproduce la parte superior del ranking de cumplimiento de los modelos de la literatura identificando los cinco modelos de la literatura con mayor grado de cumplimiento global.

Tal y como se estableció en el Capítulo Estado del Arte, se considera que todas las características tienen el mismo peso. Cada característica está compuesta por un número variable de ítems o columnas, razón por la cual se han normalizado todas las características siendo 100 el valor máximo para cada una de ellas, como puede comprobarse en la Tabla 5.1.

	Universalidad Multiacceso	Universalidad en Combinación de tecnologías de acceso	Universalidad en la orientación a usuario	Universalidad en la incorporación de aproximaciones "micro" y "macro"	Orientación a Requisitos de Usuario del modelo	Universalidad Geográfica	Universalidad Técnica y Económica	Extensibilidad y Flexibilidad	Comparabilidad técnica y económica	Capacidad Predictiva	Capacidad de Integración con otros modelos	VALORACION	%CUMPLIMIENTO
Máxima puntuación posible	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1100	100%
Pereira & Ferreira [PF09] (2009)	100	25	67	50	50	100	75	0	50	100	0	617	56%
Pereira [PER07] (2007)	100	0	67	50	50	100	75	0	50	100	0	592	54%
Olsen et al. ECOSYS [OLS06] (2006)	67	25	34	50	0	100	75	0	50	100	50	551	50%
Monath et al. [MON05]. MUSE (2005)	67	25	34	50	0	100	75	0	50	100	50	551	50%
Feijoo et al. [FEI11]. RURAL (2011)	67	25	34	50	50	100	50	0	50	100	0	526	48%

Tabla 5.1: TOP 5 del ranking de modelos de la literatura.

Se identifica que el modelo [PF09] es el modelo de mayor cumplimiento global y por característica.

Por lo tanto, se realizará la validación funcional del modelo propuesto comparando con el modelo de la literatura [PF09] con mayor grado de cumplimiento global según el ranking. Dicho modelo presenta un grado de cumplimiento global de un 56% con respecto al modelo teórico.

5.1.1 Validación característica Universalidad Multiacceso

A continuación se presenta la validación del modelo respecto a la característica Universalidad Multiacceso junto con el modelo de la literatura que presenta mayor cumplimiento global.

Universalidad Multiacceso			
	Tecnologías de acceso Fijas	Tecnologías de acceso Inalámbricas	Tecnologías de acceso Mixtas (Híbridas)
Modelo propuesto (UTEM)	SI (Cualesquiera)	SI (Cualesquiera)	SI (Cualesquiera)
Pereira & Ferreira [PF09] (2009)	FTTH (PON), xDSL, HFC, PLC	WiMAX	Static Layer and Nomadic Layer with WiMAX

Tabla 5.2 Validación del modelo propuesto respecto a la característica Universalidad multiacceso.

Como puede comprobarse en la tabla, el modelo UTEM permite la evaluación técnico-económica de Tecnologías de Acceso Fijas, Inalámbricas, y Mixtas o Híbridas.

El modelo UTEM también permite la evaluación tecno-económica de tecnologías de acceso virtualizadas. De hecho, en el apartado 5.2 de Validación Cuantitativa de la presente tesis doctoral se presentan resultados del modelo con escenarios correspondientes a tecnologías de acceso fijas, inalámbricas, mixtas y virtualizadas. [PF09] no muestra la posibilidad de evaluar redes virtualizadas de manera explícita dado que es un modelo publicado en 2008, aunque es probable que lo pudiera permitir con ligeras adaptaciones.

5.1.2 Validación característica Universalidad en Combinación de tecnologías

A continuación se presenta la validación del modelo UTEM respecto a la característica Universalidad en Combinación de Tecnologías junto con el modelo de la literatura con mayor cumplimiento global.

Universalidad en Combinación de tecnologías de acceso				
	Combinación serie de tecnologías fijas	Combinación serie de tecnologías fijas e inalámbricas	Combinaciones en paralelo de distinta tecnología	Combinaciones en paralelo de la misma tecnología
Modelo propuesto (UTEM)	SI	SI	SI	SI
Pereira & Ferreira [PF09] (2009)	NO	Static Layer (xDSL, FTTH, HFC, PLC) + Nomadic Layer (WiMAX)	NO	NO

Tabla 5.3 Validación del modelo propuesto respecto a la característica Universalidad en Combinación de Tecnologías

En la Tabla 5.3 se muestra que el modelo UTEM permite evaluar combinaciones serie y paralelo homogéneas y heterogéneas de tecnologías fijas, inalámbricas y mixtas, gracias al Submodelo Serie y al Submodelo Paralelo, que componen el Módulo de Caracterización de Tecnologías de Acceso, tal y como se describe en el Capítulo 3 Modelo Propuesto de la presente tesis doctoral.

5.1.3 Validación característica Universalidad en la Orientación a usuario

A continuación se muestra la validación del modelo propuesto respecto a la característica Universalidad en la Orientación a Usuario.

Universalidad en la orientación a usuario			
	Orientados a Operadores (KPIs de despliegue)	Orientados a Clientes (KPIs de uso)	Orientados a otros agentes
Modelo propuesto (UTEM)	SI	SI	SI ¹ (Autoridades Reguladoras, Inversores / Prestamistas, Administración Pública Local, ...)
Pereira & Ferreira [PF09] (2009)	SI	Sólo menciona el Ancho de Banda Medio Requerido (Emisión y Recepción)	NO

¹ Se asigna valor de cumplimiento 0,5 a este ítem para el modelo UTEM dado que ningún modelo de la literatura cumple plenamente esta característica y podrían surgir nuevos agentes.

Tabla 5.4 Validación del modelo propuesto respecto a la característica Universalidad en la Orientación a Usuario.

El modelo propuesto UTEM utiliza parámetros de salida KPIs orientados no sólo a evaluar la viabilidad económica de posibles despliegues de redes de acceso con una tecnología dada, sino que utiliza parámetros de salida KPIs técnicos orientados a la satisfacción de las necesidades de uso de un acceso a Internet o redes de datos de una tecnología dada, así como KPIs económicos orientados a usuario o cliente final. Así también, los KPIs utilizados por el modelo UTEM están orientados a cualquier otro agente del mercado de telecomunicaciones (Autoridades Reguladoras del mercado, Inversores, Administraciones Públicas, etc.). Como puede comprobarse, [PF09] se encuentra orientado al despliegue de redes de acceso por parte de los operadores y en cuanto a la orientación a cliente incluye sólo una mención al ancho de banda medio requerido en emisión y recepción, sin incluir mención alguna a otros agentes del mercado.

5.1.4 Validación característica Universalidad en la incorporación de Aproximaciones “micro” y “macro”

A continuación se muestra la validación del modelo propuesto UTEM respecto a la característica Universalidad en la incorporación de aproximaciones “micro” y “macro”.

Universalidad en la incorporación de Aproximaciones "micro" y "macro"		
	Aproximación "macro"	Aproximación micro
Modelo propuesto (UTEM)	SI	SI
Pereira & Ferreira [PF09] (2009)	SI	NO

Tabla 5.5: Validación del modelo propuesto respecto a la característica Universalidad en la incorporación de Aproximaciones "micro" y "macro".

El modelo propuesto UTEM incorpora tanto la aproximación "micro" de la mano de la metodología de Aplicación Aislada, como la aproximación "macro" con la metodología de Aplicación Combinada, tal y como se expone en los apartados 4.1 y 4.2 del Capítulo Metodología, de tal manera que cumple la característica Universalidad en la incorporación de Aproximaciones "micro" y "macro". [PF09] se halla eminentemente orientado al despliegue de tecnologías de acceso por parte de los operadores de telecomunicaciones, utilizando una aproximación "macro" partiendo de las dimensiones y características del área geográfica a cubrir, y adolece de la incorporación de la aproximación "micro".

5.1.5 Validación característica Orientado a Requisitos de Usuario del modelo

A continuación se muestra la validación del modelo propuesto respecto a la característica Orientado a Requisitos de Usuario del Modelo.

Orientación a Requisitos de Usuario del modelo		
	Requisitos de usuario del modelo (Naturaleza económica)	Requisitos de usuario del modelo (Rangos técnicos)
Modelo propuesto (UTEM)	SI (todos los parámetros)	SI (todos los parámetros)
Pereira & Ferreira [PF09] (2009)	No	Sólo en Ancho de Banda

Tabla 5.6: Validación del modelo propuesto respecto a la característica Orientado a Requisitos de usuario del modelo.

El modelo propuesto UTEM se encuentra orientado a los requisitos de usuario del modelo sean éstos de naturaleza económica o de naturaleza técnica, tal y como puede comprobarse en el apartado Requisitos de Cliente y Criterios de Decisión del Capítulo Modelo Propuesto. [PF09] no menciona requisitos económicos por parte del usuario del modelo y trabaja sólo con requisitos de ancho de banda por parte del usuario del modelo. Pese a que los parámetros de salida de [PF09] son económicos no se establece explícitamente criterio alguno.

5.1.6 Validación característica Universalidad geográfica

Se prosigue presentando la validación del modelo propuesto UTEM al respecto de la característica Universalidad geográfica.

Universalidad geográfica			
	Permite la descripción del área geográfica a cubrir (Superficie, Volumen y densidad de población)	Permite la descripción de la situación de infraestructuras existentes (conducciones, cobre)	Permite la descripción del mix de población a cubrir (Residencial, PYMES, GGCC, Usuarios en movilidad)
Modelo propuesto (UTEM)	SI	SI	SI
Pereira & Ferreira [PF09] (2009)	SI	SI	SI

Tabla 5.7: Validación del modelo propuesto respecto a la característica Universalidad geográfica.

El modelo propuesto UTEM incorpora la característica Universalidad geográfica mediante el uso de la metodología de aplicación Combinada del modelo, que le permite incorporar como entradas en el módulo de caracterización, los parámetros de salida resultantes de aplicar modelos topológicos externos. Por tanto, el modelo propuesto UTEM importa la característica Universalidad geográfica mediante el uso de modelos topológicos externos. [PF09] utiliza un modelo geométrico para calcular la cantidad de cableado que se requiere en planta exterior, el número de elementos de red y los costes de obra civil asociados. En [MIT13] se muestra una discusión respecto al uso de modelos geométricos (basados en modelos matemáticos aproximados) vs. modelos geográficos (basados en datos geospaciales de mapas) para la estimación de un despliegue de red de acceso basada en FTTH. El modelo UTEM permite incorporar la información procedente de modelos topológicos externos ya estén basados en modelos geométricos, en modelos geográficos o en cualquier otro tipo de modelización futura, con el objetivo de aprovechar los modelos que se estimen más precisos a la hora de su aplicación.

5.1.7 Validación característica Universalidad técnica y económica

A continuación se muestra la validación funcional del modelo propuesto respecto a la característica Universalidad técnica y económica junto al modelo de la literatura con mayor cumplimiento global [PF09].

Universalidad Técnica y Económica				
	Parámetros de Entrada		Parámetros de Salida	
	Técnicos	Económicos	Técnicos	Económicos
Modelo propuesto (UTEM)	Ancho de Banda Emisión y Recepción, MTR, MTBF, Disponibilidad, Distancia, QoS, Redundancia, LOS, Banda de frecuencias utilizada, Máx. usuarios, Concurrencia, Geotipo, Atenuación, Retenciones Riesgo Salud, Curvas de Aprendizaje para costes de componentes, Período de estudio, Arquitectura de la Red de Acceso	Ingresos (ARPU a lo largo del tiempo), Costes de Componentes y Operación y Mantenimiento OAM (CapEx, OpEx a lo largo del tiempo)	Ancho de Banda Emisión y Recepción (máx, mín, medio), Disponibilidad, Distancias, Capacidad QoS, LOS necesaria?, Licencia?, Ubicuidad, Retenciones Riesgo Salud	ARPU, NPV, IRR, Ingresos, Total CapEx, Total OpEx
Pereira & Ferreira [PF09] (2009)	Access network architecture components (inside plant, outside plant, feeder), Geometric model for feeder networks, Study Period, Geographical area characteristics (Households, Population, HH/km2, Nr of residential subscribers, SME, Nomadic users) Service characteristics (Avg. Downstream and Upstream bandwidth)	Pricing: one time activation/connection fee (€), subscription fee (€/month), Discount rate	NO	Cost per user, Cost per homes passed, Payback period, NPV, IRR, Cash balance, CAPEX, OPEX, Sensitivity Analysis

Tabla 5.8 Validación del modelo propuesto respecto a la característica Universalidad Técnica y Económica

El modelo UTEM incorpora, tal y como se describe en el Capítulo Modelo Propuesto, parámetros de entrada y salida técnicos y económicos de la naturaleza mostrada en dicho Capítulo y resumida en la Tabla 5.7. [PF09] utiliza los parámetros de entrada técnicos y económicos mostrados en la Tabla 5.7, mientras los parámetros de salida son sólo económicos. [PF09] muestra análisis de sensibilidad respecto de determinados parámetros del ámbito de la mercadotecnia, permitiendo también el modelo UTEM dicho análisis de sensibilidad, por lo que se concluye que el modelo UTEM presenta un mayor cumplimiento de la característica Universalidad Técnica y económica respecto a [PF09].

5.1.8 Validación característica Extensibilidad y Flexibilidad

A continuación se muestra la validación funcional del modelo propuesto UTEM respecto a la característica Extensibilidad y flexibilidad.

Extensibilidad y Flexibilidad		
	Flexibilidad para nuevos parámetros de entrada (técnicos y económicos)	Flexibilidad para nuevos parámetros de salida (técnicos y económicos)
Modelo propuesto (UTEM)	SI ²	SI ²
Pereira & Ferreira [PF09] (2009)	NO	NO

² Dada la inexistencia de modelos técnico-económicos extensibles y flexibles en la literatura, y la necesidad de incorporar la formulación de los nuevos parámetros en el modelo UTEM se asignará un valor de cumplimiento de 0,5 a cada ítem.

Tabla 5.9 Validación del modelo UTEM respecto a la característica Extensibilidad y Flexibilidad

Tal y como se expone en el apartado 4.1.2, el modelo UTEM permite añadir fácilmente nuevos parámetros de entrada tanto técnicos como económicos de cara a incorporar de manera sencilla nuevos parámetros de salida de naturaleza técnica o económica, simplemente incorporando la formulación correspondiente, facilitando su extensibilidad y flexibilidad. No se aprecia ni se menciona esta característica en ninguno de los modelos de la literatura.

5.1.9 Validación característica Comparabilidad técnica y económica

En este apartado se presenta la validación funcional del modelo propuesto UTEM respecto a la Característica Comparabilidad técnica y económica.

Comparabilidad técnica y económica		
	¿Permite comparar los resultados económicos?	¿Permite comparar los resultados técnicos?
Modelo propuesto (UTEM)	SI	SI ³
Pereira & Ferreira [PF09] (2009)	SI	NO

³ Dada la inexistencia actual de modelos tecno-económicos con los que comparar resultados técnicos, se asignará un cumplimiento de 0,5 a este ítem.

Tabla 5.10 Validación del modelo propuesto respecto a la característica Comparabilidad técnica y económica.

A consecuencia de la naturaleza técnica o económica de los parámetros de salida del modelo UTEM y la exclusivamente naturaleza económica de los parámetros de salida de los modelos de la literatura, se desprende que el modelo UTEM permite comparar tanto resultados económicos, como se expone en el apartado Validación Cuantitativa

del presente Capítulo, como los resultados técnicos en el caso de que surgieran modelos que proporcionaran parámetros de salida de dicha naturaleza.

5.1.10 Validación característica Predictivo

A continuación se muestra la validación funcional del modelo propuesto UTEM respecto a la característica Predictivo.

Capacidad Predictiva			
	Período de estudio como parámetro de entrada	Permite parámetros de entrada con predicción temporal	Realiza predicción temporal en parámetros de salida
Modelo propuesto (UTEM)	SI	SI (ARPU, CapEx, OpEx)	SI (ARPU, NPV, IRR, Ingresos, Total CapEx, Total OpEx, Coste por usuario)
Pereira & Ferreira [PF09] (2009)	SI	Trend (% per year) for Geographical area characteristics (Households, Population, HH/km2, Nr of residential subscribers, SME, Nomadic users) Service characteristics (Avg. Downstream and Upstream bandwidth) and Pricing (one time connection fee and subscription fee)	NPV, IRR, CapEx, OpEx, Cost per subscriber

Tabla 5.11 Validación funcional del modelo propuesto UTEM respecto a la característica Predictivo.

En la tabla 5.10 se muestra que el modelo UTEM, tal y como se expone en el Capítulo Modelo Propuesto, incorpora el período de estudio como parámetro de entrada, permitiendo parámetros de entrada con predicción temporal, en concreto, los vectores temporales de ARPU, CapEx y OpEx, así como realiza la correspondiente predicción temporal en los parámetros de salida: ARPU, NPV, IRR, Ingresos, CapEx, OpEx, coste por usuario, cumpliendo por tanto el modelo UTEM la característica Predictivo. De igual manera, la tabla 5.10 muestra el cumplimiento de esta característica para el modelo [PF09].

5.1.11 Validación característica Integrible

En la tabla 5.11 se muestra, tal y como se expone en el Capítulo Metodología de la presente tesis doctoral, que el modelo propuesto UTEM permite integrar como entrada la salida de otro modelo. El análisis de la literatura muestra salidas económicas para los modelos analizados. Sería también posible incorporar en caso de que existieran salidas técnicas de otros modelos como entradas técnicas, aprovechando, en caso necesario, la extensibilidad y flexibilidad del modelo propuesto. Así también, la lógica del modelo propuesto UTEM y en concreto el Módulo de Comparación de Tecnologías, permite incorporar por defecto parámetros de otros modelos, en el cálculo de las figuras de mérito de prestaciones técnicas y/o económicas F1 y de

eficiencia F2. No se aprecia ni se menciona dicha característica en los modelos de la literatura.

Capacidad de Integración con otros modelos		
	Permite integrar como entrada la salida de otro modelo	La lógica del modelo permite incorporar por defecto parámetros de otros modelos
Modelo propuesto (UTEM)	SI	SI
Pereira & Ferreira [PF09] (2009)	NO	NO

Tabla 5.12 Validación funcional del modelo propuesto UTEM respecto a la característica Integrable

5.1.12 Resumen

A continuación se muestra la tabla resumen de la validación funcional realizada del modelo UTEM comparándolo con el modelo de mejor cumplimiento global [PF09].

	Universalidad Multiacceso	Universalidad en Combinación de tecnologías de acceso	Universalidad en la orientación a usuario	Universalidad en incorporación de aproximaciones "micro" y "macro"	Orientación a Requisitos de Usuario del modelo	Universalidad Geográfica	Universalidad Técnica y Económica	Extensibilidad y Flexibilidad	Comparabilidad técnica y económica	Capacidad Predictiva	Capacidad de Integración con otros modelos	VALORACION	%CUMPLIMIENTO
Mayor grado posible de cumplimiento	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1100	100%
Modelo propuesto (UTEM)	100	100	84	100	100	100	100	50	75	100	100	1009	92%
Pereira & Ferreira [PF09] (2009)	100	25	67	50	50	100	75	0	50	100	0	617	56%

Tabla 5.13: Resumen de la validación cualitativa del modelo propuesto UTEM.

Como puede comprobarse en la Tabla 5.13 y en la Tabla 2.11, el modelo propuesto UTEM presenta mayor grado de cumplimiento que los modelos de la literatura, en todas y cada una de las características definidas en el Capítulo Estado del Arte para un modelo técnico-económico de evaluación de tecnologías de acceso, universal, flexible, generalizable y escalable, alcanzando un grado global de cumplimiento de un 92%, quedando, por tanto, el modelo propuesto UTEM validado de manera cualitativa.

5.2 Validación Cuantitativa en Escenarios de Aplicación Aislada del Modelo

5.2.1 Escenarios contemplados

Los resultados del modelo en aproximación “micro” (‘bottom-up’), utilizando por tanto, la metodología de Aplicación Aislada del modelo, se muestran contemplando los siguientes escenarios:

- Escenario 1: ADSL
- Escenario 2: FTTH (Fiber to the Home: Fibra hasta el Hogar)
- Escenario 3: WiMAX
- Escenario 4: 4G-LTE
- Escenario 5: Acceso FTTH con router virtualizado
- Escenario 6: Línea dedicada punto a punto
- Escenario 7: Acceso redundante 2 x ADSL
- Escenario 8: ADSL en paralelo con WiMAX y punto de acceso WiFi IEEE 802.11g en modo agregado (sin respaldo).
- Escenario 9: VDSL

La elección de los escenarios se ha realizado contemplando las tecnologías de acceso más ampliamente utilizadas desde el año 2006 hasta la fecha, por parte de los operadores de telecomunicaciones en el mundo, incluyendo las tecnologías de acceso fijas ADSL y FTTH, prosiguiendo con tecnologías de acceso inalámbricas WiMAX y móviles UMTS/4G, que permiten la movilidad de los usuarios finales, e incorporando un acceso FTTH con la función de router virtualizada, dado que algunos operadores y fabricantes están realizando pruebas piloto al respecto. Se añade el escenario de línea dedicada por cuanto forma parte de la motivación original de la presente tesis doctoral, dado que emana de la necesidad de buscar soluciones más económicas y con iguales o mejores prestaciones de ancho de banda y disponibilidad que las líneas punto a punto [BU04], según lo expuesto en el Capítulo Introducción. Así también se añade un escenario con redundancia homogénea: acceso redundante 2 x ADSL y un escenario con redundancia mixta: ADSL en paralelo con WiMAX + WiFi IEEE 802.11g, así como un escenario con tecnología VDSL.

La evolución tecnológica desde 2006 hasta la actualidad, no sólo no cuestiona sino que avala el modelo propuesto, y su aplicación para tecnologías actuales y futuras. Considérese, por ejemplo, que en el año 2006 no existía la tecnología 4G, ni las nuevas tecnologías de Fibra Óptica ni los accesos virtualizados, que en el año 2015 aún se encuentran en fase de desarrollo y pruebas por parte de fabricantes y operadores de telecomunicaciones.

En la aplicación del modelo propuesto a cualquier escenario, los valores de ancho de banda que se utilizan son a nivel de servicio proporcionado por un operador, no respecto al valor máximo teórico o práctico de la tecnología de acceso. Esto se debe a que el ancho de banda definido en el acceso condiciona siempre el dimensionamiento de la red troncal de cara a soportar el tráfico de datos. Este criterio se establece sea cual sea la perspectiva del usuario del modelo: operador, cliente final, regulador, etc.

Los escenarios 7 y 8 requieren destacar que se utilizan dos accesos en paralelo de manera agregada, es decir, se suma su ancho de banda a efectos de la aplicación del modelo propuesto en este escenario. Existen diferentes mecanismos en cuanto al reparto de carga de ancho de banda entre varios accesos. El estudio de los mismos queda fuera del alcance de la presente tesis doctoral, constituyendo una línea de investigación futura, incluyendo el hecho de que dicha función de balanceo de carga puede hallarse virtualizada.

Los escenarios contemplados de tecnologías de acceso para mostrar los resultados del modelo propuesto en aproximación “micro” se han obtenido de [PF09].

Con el fin de facilitar la aplicación del modelo y la obtención de resultados, se ha desarrollado una herramienta Excel que incorpora toda la formulación del modelo propuesto. Los resultados que se muestran en el presente Capítulo de Validación se encuentran soportados sobre dicha herramienta Excel. Así también, se ha desarrollado una herramienta Web que implementa el modelo propuesto.

Los resultados del modelo propuesto presentados en el presente Capítulo de Validación, consideran como ejemplo determinados requisitos de cliente final y criterios de decisión, independientemente de quién o qué tipo de agente del mercado sea el usuario del modelo propuesto (usuario final de la tecnología, operador de telecomunicaciones – área infraestructuras, área control económico, área soporte técnico preventa, etc. - , regulador, etc.).

5.2.2 Consideraciones generales

A continuación se presentan las consideraciones generales de la validación cuantitativa realizada para los 9 escenarios, contemplando los requisitos de cliente y los criterios de decisión o preferencias del usuario que se establecen como ejemplo en este caso concreto de validación.

5.2.2.1 Requisitos de cliente

En la siguiente tabla se muestran los requisitos de cliente (rango de valores $U_{\min k}$, $U_{\max k}$ para los parámetro de salida y_k que desean considerarse a tal efecto), establecidos para la presente validación, en función de los cuales se calcula el número mínimo R de accesos redundantes para cada tecnología a partir del cual se cumplirían dichos requisitos. En dicho proceso de cálculo, interviene el Módulo Redundancia del modelo propuesto, tal y como se describe en el apartado 3.4.

Para la presentación de resultados en el presente Capítulo, se considera, como ejemplo, un usuario tipo residencial con un acceso que le permita conexión a Internet y la recepción de contenidos de TV de Ultra Alta Definición UHD TV 4K, por lo que ha de tratarse de un acceso de Ultra Banda Ancha (30Mbits/s en recepción) según [NW15] y en línea con los objetivos de ancho de banda mínimos planteados en la Agenda Digital Europea para 2020 [DIG15]. Se considera un requisito de disponibilidad máxima del acceso Carrier Grade (99,9999%). En la siguiente tabla, se

muestran los requisitos de cliente para dicho usuario tipo residencial, como ejemplo a partir del cual se muestran los resultados en los siguientes apartados del presente capítulo.

	Parámetros	U_{mín k}	U_{máx k}
VELOCIDAD DE RECEPCIÓN	Ancho de Banda MEDIO (Mbps/s por usuario)	30	100
VELOCIDAD DE EMISIÓN	Ancho de Banda MEDIO (Mbps/s por usuario)	3	10
DISPONIBILIDAD	Disponibilidad	0,9999	0,999999
DISTANCIA	Distancia mínima a cubrir usuario a punto de acceso (metros)	20	30.000
	Distancia mínima total a cubrir desde usuario a nodo de acceso (metros)	20	30.000
COSTE	Se considera en este ejemplo CAPEX + OPEX (año 1) (€)	N/A	12000
QoS	Capacidad para QoS (VERDADERO / FALSO)	N/A	VERDADERO
LOS	Se admiten sistemas que requieran LOS desde usuario a punto de acceso ? (Line of Sight Necesaria ?)	N/A	VERDADERO
	Se admiten sistemas que requieran LOS desde punto de acceso a nodo de acceso necesaria?	N/A	VERDADERO
LICENCIA	Se admiten sistemas que requieran Licencia? (VERDADERO / FALSO)	N/A	VERDADERO
Entorno	Entorno (URBANO / SUBURBANO / RURAL)	N/A	SUBURBANO
Atenuación por meteorología	¿Se desea contemplar influencia de la atenuación por lluvia?	N/A	SI
	¿Se desea contemplar influencia de la atenuación por niebla?	N/A	NO
	¿Se desea contemplar influencia de la atenuación por nieve?	N/A	NO
Ubicuidad	¿Se requiere ubicuidad en domicilio de cliente?	N/A	SI
Salud	¿Se admite probabilidad de suscitar retenciones por riesgo para la salud? (0=NINGUNA;1=BAJA;2=MEDIA;3=ALTA)	N/A	3

Tabla 5.14: Requisitos de cliente para usuario tipo residencial que requiere de un acceso con conexión a Internet y recepción de contenidos TV UHD 4K según [NW15]

5.2.2.2 Preferencias de usuario

Tal y como se definió en el Capítulo Modelo Propuesto, el modelo permite al usuario, en su Módulo de Comparación de Tecnologías de Acceso, establecer unas preferencias de usuario específicas, a partir de las cuales, el modelo UTEM calcula los parámetros

de salida de las diferentes tecnologías de acceso en los distintos escenarios, permitiendo al usuario decantarse por una u otra tecnología.

El usuario introduce sus preferencias (criterios de decisión), otorgando los pesos a_k y b_p deseados a cada uno de los parámetros de salida y_k , para la obtención de las dos figuras de mérito: F1 de prestaciones técnico-económicas y F2 de eficiencia técnico-económica, tal y como se describe en el apartado 3.5.

Se considerará un usuario tipo que carece de un grado de conocimiento profundo sobre las tecnologías de acceso y que sigue la recomendación estándar establecida en el Capítulo Metodología de fijar los parámetros a_k y b_p de la siguiente manera. Se asigna valor -1 para los a_k correspondientes a parámetros y_k de requerimientos de visión directa *LOS*, *Licencia y probabilidad de suscitar retenciones por riesgo para la salud*, dado que en caso de que la tecnología de acceso en estudio los requiera, suponen una merma de sus prestaciones técnicas. Se establece peso $a_k = 0,1$ en parámetro *Disponibilidad* para que el producto del peso a_k por el parámetro de *Disponibilidad normalizado* (\bar{y}_k), quede en un orden de magnitud similar al del resto de parámetros, dado que la diferencia de la disponibilidad máxima con estos requisitos: 99,9999% y la disponibilidad mínima requerida en este caso: 99,99% es igual a $0,999999 - 0,9999 = 0,000099$, lo cual provoca un efecto multiplicador en la disponibilidad normalizada. En función del rango de parámetros reales puede requerirse alguna iteración para ajustar el valor asignado a dicho peso, en función de la prioridad que el usuario desee otorgar a la Disponibilidad respecto al resto de parámetros. Se asigna valor +1 a los coeficientes a_k correspondientes al resto de parámetros de prestaciones técnicas. Se establece $a_k=0$ para coste económico y $b_p=1$ sólo para coste económico, siendo $b_p=0$ para el resto de parámetros, con el fin de calcular con F2 la eficiencia o rendimiento económico de cada tecnología de acceso.

Los resultados ofrecidos por el modelo propuesto, que se presentan a continuación para los diferentes escenarios mencionados, se han obtenido a partir de las preferencias establecidas por el usuario tipo, que se muestran en la Tabla 5.15. Las cotas mínimas y máximas $U_{\min k}$, $U_{\max k}$ provienen de la Tabla 5.14 de requisitos de cliente. La columna final "SUMA ($a_k > 0$)" se utiliza para normalizar el valor de las figuras de mérito F1 y F2, como se expuso en el apartado 3.5.1.

PREFERENCIAS DE USUARIO

	Parámetros de Salida	a_k ACTIVADOS	b_p ACTIVADOS	$U_{\min k}$	$U_{\max k}$	SUMA($a_k > 0$)
VELOCIDAD DE RECEPCIÓN	Ancho de Banda MEDIO por usuario en acceso (Mbits/s por usuario)	1	0	30	100	1
VELOCIDAD DE EMISIÓN	Ancho de Banda MEDIO por usuario en acceso (Mbits/s por usuario)	1	0	3	10	1
DISPONIBILIDAD	Disponibilidad	0,1	0	0,9999	0,999999	0,1
DISTANCIA	Distancia usuario a punto de acceso (metros)	1	0	20	30000	1
	Distancia total usuario a nodo de acceso (m)	1	0	20	30000	1
COSTE	Se considera en este ejemplo CAPEX + OPEX (año 1) (€)	0	1	0	12000	0
QoS	Capacidad para QoS	1	0	0	1	1
LOS	LOS desde usuario a punto de acceso (Line of Sight Necesaria ?)	-1	0	0	1	0
	LOS desde punto de acceso a nodo de acceso?	-1	0	0	1	0
LICENCIA	Necesita Licencia ?	-1	0	0	1	0
Ubicuidad	Ubicuidad en domicilio de cliente	1	0	0	1	1
Salud	Probabilidad de suscitar retenciones por riesgo para la salud (0=NINGUNA; 1=BAJA; 2=MEDIA; 3=ALTA)	-1	0	0	3	0
						6,1

Tabla 5.15: Preferencias de usuario establecidas como ejemplo para la validación cuantitativa.

5.2.3 Resultados

Con el fin de simplificar la estructura del presente apartado y facilitar su lectura, se presentan a continuación los resultados del modelo UTEM para los dos primeros escenarios mencionados. Los resultados de los siete escenarios restantes se incluyen en el apartado ANEXOS de la presente tesis doctoral, para mayor comodidad del lector.

5.2.3.1 Escenario 1: ADSL

A continuación se procede a mostrar los resultados del modelo para un único acceso ADSL considerando los requisitos del cliente tipo residencial planteados como ejemplo en el apartado 5.2.2.1, y las preferencias de usuario expuestas en el apartado 5.2.2.2.

En las siguientes tablas, se muestran los parámetros de entrada del modelo que se utilizan como ejemplo en este escenario, así como los parámetros de salida obtenidos aplicando el modelo UTEM para este escenario. Cualquier variación en los parámetros de entrada, en los requisitos de cliente o en las preferencias de usuario, dará lugar a unos resultados diferentes.

Los parámetros de entrada técnicos y económicos (x_{ij}) que alimentan el modelo UTEM para este caso concreto, se muestran en la Tabla 5.16, y se obtienen de las diferentes fuentes indicadas en el apartado 3.2. En la primera columna se muestra una categorización de los parámetros de entrada para facilitar su lectura. En la segunda columna se incluyen los nombres de los parámetros de entrada. El resto de columnas corresponden a los componentes o elementos del acceso y constituyen la matriz $P \times N$ de parámetros de entrada descrita en el apartado 3.3. En este ejemplo, se han considerado 4 componentes o elementos del acceso, por lo que $N=4$, incluyendo de izquierda a derecha desde el más cercano al usuario final (se ha considerado el interfaz WiFi del PC del usuario final en este ejemplo), al más lejano (se ha contemplado el interfaz del nodo de acceso con la red de agregación). Dada la flexibilidad del modelo UTEM, la dimensión $P \times N$ de la matriz de parámetros de entrada, puede variar de una sesión de evaluación a otra, en función de los parámetros de entrada y elementos del acceso que el usuario del modelo desee contemplar.

Para este ejemplo, los datos de entrada del vector de ARPU para los 3 años que se consideran como período de estudio, se han obtenido considerando una media de los países de la UE según la firma de análisis Analysys Mason [MAS15]. Por simplicidad, se asignan los valores al componente más cercano al usuario. Los datos de CAPEX de cada componente del acceso, se han obtenido según datos para la región EMEA (Europe, Middle East and Africa) procedentes de la firma de consultoría OVUM [OVU15a] [OVU15b]. Los datos de OPEX, en este ejemplo, se han estimado como el producto de la Disponibilidad de cada componente del acceso por su CAPEX. El usuario podría optar por cualquier otro método, o incluso incorporar los de otro modelo.

En la Tabla 5.17, se presenta la salida de datos del modelo. En la columna “ y_k ” se muestran los resultados de aplicar la formulación expuesta en el apartado 3.3.1.2 - Fórmulas (3.1) a (3.21) -, en este caso para el Submodelo Serie, por ser el único que interviene en este escenario. En las dos siguientes columnas, se muestran los productos $a_k \cdot \bar{y}_k$ y $b_p \cdot y_k$ para este caso concreto, como cálculos intermedios para el cálculo de las figuras de mérito F1 y F2 utilizando las fórmulas (3.68) y (3.69) del apartado 3.5.1.

En la Tabla 5.18, se muestra en la columna “ y_k ” el conjunto de parámetros de salida y_k que tienen establecidos cota mínima y máxima en la matriz de requisitos de cliente de la Tabla 5.14. Dichos parámetros de salida son coincidentes con los de la Tabla 5.17. En la columna “Valor mínimo de r_k para cumplir requisitos de cliente” se incluye el cálculo intermedio de r_k para cada parámetro de salida y_k , según la formulación expuesta en el apartado 3.4.2 – fórmulas (3.46) a (3.65) -, como cálculo intermedio y paso previo al cálculo del mínimo número de accesos redundantes R para que la tecnología de acceso ADSL cumpla los requisitos de usuarios, según la aplicación de las fórmulas (3.43) a (3.45) y el flujograma de la Figura 3.7.

Para el resto de escenarios, se sigue el mismo procedimiento expuesto. Cabe señalar que en el caso de los Escenarios 7 y 8, tras el Submodelo Serie, interviene el Submodelo Paralelo, según la formulación expuesta en el apartado 3.3.2.2 – fórmulas (3.22) a (3.42) – y la metodología del apartado 4.1, también ilustrada en la Figura 4.1

PARÁMETROS DE ENTRADA x_{ij} del MODELO UTEM

NOMBRE ESCENARIO:		ADSL			
	Parámetro Entrada	Interfaz PC	Elemento 1	Elemento 2	Elemento 3
Identificación del elemento	Nombre del elemento	Adaptador Wireless 802.11b/g U.S. ROBOTICS USB8054 20	Router 3COM OfficeConnector 812	DSLAM (Alcatel 7300)	Red de agregación
	Función del elemento	Adaptador Wi-Fi PC	Router en domicilio de cliente	Interfaz Acceso	Interfaz Agregación
Ancho de Banda	Ancho de Banda Unitario (Mbits/s) (Recepción)	100	10	10	10
	Ancho de Banda Unitario (Mbits/s) (Emisión)	100	0,82	1	1
Disponibilidad	Disponibilidad	99,9962%	99,9644%	99,9990%	100,0000%
Distancia	Distancia (metros)	N/A	N/A	4500	N/A
QoS	Capacidad para QoS	N/A	VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO
Redundancia	Redundancia (Nº elementos en paralelo)	1	1	1	1
LOS	LOS (Line of Sight Necesaria ?)	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO
Banda de frecuencias	Banda (GHz)	2,4	2,4	N/A	N/A
Licencia	Necesita Licencia ?	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO
Usuarios	Nº usuarios:	1	1	N/A	N/A
Concurrencia	Concurrencia media estimada de usuarios	N/A	100,00%	N/A	N/A
Tecnología	¿Utiliza tecnología inalámbrica en algún tramo?	NO	NO	NO	NO
Entorno	VectorEntorno (URBANO DENSO/ URBANO/ SUBURBANO / RURAL)	(1,1,1,1)	(1,1,1,1)	(1,1,1,1)	(1,1,1,1)
Atenuación por meteorología	Disminución total de Ancho de Banda en Recepción por efectos meteorológicos (Mbits/s)	0	0	0	0

	Disminución total de Ancho de Banda en Emisión por efectos meteorológicos (Mbits/s)	0	0	0	0
Ubicuidad	Ubicuidad en domicilio de cliente	SI	N/A	N/A	N/A
Salud	Probabilidad de suscitar retenciones por riesgo para la salud (0=NINGUNA; 1=BAJA; 2=MEDIA; 3=ALTA)	1	1	0	0
K (tipo de interés)	Tipo de interés	1,00%	N/A	N/A	N/A
ARPU año 1	Ingresos medios por usuario (Año 1)	416,54 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
ARPU año 2	Ingresos medios por usuario (Año 2)	363,60 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
ARPU año 3	Ingresos medios por usuario (Año 3)	363,60 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
CAPEX año 1	Inversiones (Año 1)	15,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €
CAPEX año 2	Inversiones (Año 2)	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
CAPEX año 3	Inversiones (Año 3)	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
OPEX año 1	Gastos de Operación (Año 1)	0,00 €	0,04 €	0,001 €	0,000 €
OPEX año 2	Gastos de Operación (Año 2)	0,00 €	0,04 €	0,001 €	0,000 €
OPEX año 3	Gastos de Operación (Año 3)	0,00 €	0,04 €	0,001 €	0,000 €

Tabla 5.16: Parámetros de entrada en escenario ADSL

PARÁMETROS DE SALIDA y_k y Figuras de mérito F1 y F2

	Parámetros Salida	y_k	$a_k \cdot \bar{y}_k$	$b_P \cdot y_k$	Valoración Ponderada	
					F1	F2
VELOCIDAD DE RECEPCIÓN	Ancho de Banda MEDIO por usuario en acceso (Mbits/s por usuario)	10	-0,2857	0,0000	22,51%	71,46%/K€
VELOCIDAD DE EMISIÓN	Ancho de Banda MEDIO por usuario en acceso (Mbits/s por usuario)	3	0,0000	0,0000		
DISPONIBILIDAD	Disponibilidad	99,9597%	-0,3065	0,0000		
DISTANCIA	Distancia usuario a punto de acceso (metros)	4.500	0,1494	0,0000		
	Distancia total usuario a nodo de acceso (m)	4.500	0,1494	0,0000		
ARPU año 1	Ingresos medios por usuario (Año 1)	416,54 €	0,0000	0,0000		
ARPU año 2	Ingresos medios por usuario (Año 1)	363,60 €	0,0000	0,0000		
ARPU año 3	Ingresos medios por usuario (Año 1)	363,60 €	0,0000	0,0000		
CAPEX año 1	Inversiones (Año 1)	315,00 €	0,0000	0,0000		
CAPEX año 2	Inversiones (Año 2)	0,00 €	0,0000	0,0000		
CAPEX año 3	Inversiones (Año 3)	0,00 €	0,0000	0,0000		
OPEX año 1	Gastos de Operación (Año 1)	0,04 €	0,0000	0,0000		
OPEX año 2	Gastos de Operación (Año 2)	0,04 €	0,0000	0,0000		
OPEX año 3	Gastos de Operación (Año 3)	0,04 €	0,0000	0,0000		
NPV	Valor actual neto (Net Present Value) a tipo de interés K	809,77 €	0,0000	0,0000		
Flujo de Caja Neto	Net Cash Flow (no se tiene en cuenta el tipo de interés K)	828,63 €	0,0000	0,0000		
Payback Period (años)	Período de Amortización	1,00	0,0000	0,0000		
COSTE	CapEx + OpEx (año 1)	315,04 €	0,0000	315,0371		
QoS	Capacidad para QoS	VERDADERO	1,0000	0,0000		
LOS	LOS desde usuario a punto de acceso (Line of Sight Necesaria ?)	N/A	0,0000	0,0000		
	LOS desde punto de acceso a nodo de acceso necesaria?	N/A	0,0000	0,0000		
LICENCIA	Necesita Licencia ?	FALSO	0,0000	0,0000		
Ubicuidad	Ubicuidad en domicilio de cliente	SI	1,0000	0,0000		
Salud	Probabilidad de suscitar retenciones por riesgo para la salud (0=NINGUNA; 1=BAJA; 2=MEDIA; 3=ALTA)	1	-0,3333	0,0000		

Tabla 5.17: Parámetros de salida y_k y figuras de mérito F1 y F2 en escenario ADSL.

OBTENCIÓN DEL MÍNIMO NÚMERO DE ACCESOS REDUNDANTES R PARA CUMPLIR REQUISITOS DE CLIENTE

	Parámetros Salida	y_k	Valor mínimo de r_k para cumplir requisitos de cliente
VELOCIDAD DE RECEPCIÓN	Ancho de Banda MEDIO por usuario en acceso (Mbits/s por usuario)	10	3
VELOCIDAD DE EMISIÓN	Ancho de Banda MEDIO por usuario en acceso (Mbits/s por usuario)	3	1
DISPONIBILIDAD	Disponibilidad	99,9597%	2
DISTANCIA	Distancia usuario a punto de acceso (metros)	4.500	CUMPLE
	Distancia total usuario a nodo de acceso (m)	4.500	CUMPLE
COSTE	Se considera en este ejemplo CAPEX + OPEX (año 1) (€)	315,04 €	CUMPLE
QoS	Capacidad para QoS	VERDADERO	CUMPLE
LOS	LOS desde usuario a punto de acceso (Line of Sight Necesaria ?)	N/A	CUMPLE
	LOS desde punto de acceso a nodo de acceso necesaria?	N/A	CUMPLE
LICENCIA	Necesita Licencia ?	FALSO	CUMPLE
Ubicuidad	Ubicuidad en domicilio de cliente	SI	CUMPLE
Salud	Probabilidad de suscitar retenciones por riesgo para la salud (0=NINGUNA; 1=BAJA; 2=MEDIA; 3=ALTA)	1	CUMPLE

CONCLUSIÓN
SÍ CUMPLE CON:
R = 3

Tabla 5.18: Mínimo número de accesos redundantes R para que la tecnología ADSL cumpla los requisitos de usuario establecidos.

5.2.3.2 Escenario 2: FTTH (Fiber to the Home: Fibra hasta el Hogar)

Se procede a mostrar los resultados del modelo UTEM para el escenario FTTH contemplando los requisitos y preferencias de usuario establecidos para este ejemplo en el apartado 5.2.2 de manera análoga al Escenario 1.

A continuación, se muestran los parámetros de entrada del modelo que se utilizan como ejemplo en este escenario, así como los parámetros de salida obtenidos aplicando el modelo UTEM para este escenario. Como ya se ha mencionado para el Escenario 1, cualquier variación en los parámetros de entrada, en los requisitos de cliente o en las preferencias de usuario, dará lugar a unos resultados diferentes.

Los parámetros de entrada técnicos y económicos (x_{ij}) que alimentan el modelo UTEM para este caso concreto, se muestran en la Tabla 5.19, y se obtienen de las diferentes fuentes indicadas en el apartado 3.2. En la primera columna se muestra una categorización de los parámetros de entrada para facilitar su lectura. En la segunda columna se incluyen los nombres de los parámetros de entrada. El resto de columnas corresponden a los componentes o elementos del acceso y constituyen la matriz $P \times N$ de parámetros de entrada descrita en el apartado 3.3. En este ejemplo, se han considerado 4 componentes o elementos del acceso, por lo que $N=4$, incluyendo de izquierda a derecha desde el más cercano al usuario final (se ha considerado el interfaz WiFi del PC del usuario final en este ejemplo), al más lejano (se ha contemplado el interfaz del nodo de acceso con la red de agregación). Dada la flexibilidad del modelo UTEM, la dimensión $P \times N$ de la matriz de parámetros de entrada, puede variar de una sesión de evaluación a otra, en función de los parámetros de entrada y elementos del acceso que el usuario de los modelos desee contemplar.

Para este ejemplo, los datos de entrada del vector de ARPU para los 3 años que se consideran como período de estudio, se han obtenido considerando una media de los países de la UE según la firma de análisis Analysys Mason [MAS15]. Por simplicidad, se asignan los valores al componente del acceso más cercano al usuario. Los datos de CAPEX de cada componente del acceso, se han obtenido según datos para la región EMEA (Europe, Middle East and Africa) procedentes de la firma de consultoría OVUM [OVU15a] [OVU15b]. Los datos de OPEX, en este ejemplo, se han estimado como el producto de la Disponibilidad de cada componente del acceso por su CAPEX. El usuario podría optar por cualquier otro método, o incluso incorporar los de otro modelo.

En la Tabla 5.20, se presenta la salida de datos del modelo. En la columna “ y_k ” se muestran los resultados de aplicar la formulación expuesta en el apartado 3.3.1.2 - Fórmulas (3.1) a (3.21) -, en este caso para el Submodelo Serie, por ser el único que interviene en este escenario. En las dos siguientes columnas, se muestran los productos $a_k \cdot \bar{y}_k$ y $b_p \cdot y_k$ para este caso concreto, como cálculos intermedios para el cálculo de las figuras de mérito F1 y F2 utilizando las fórmulas (3.68) y (3.69) del apartado 3.5.1.

En la Tabla 5.21, se muestra en la columna “ y_k ” el conjunto de parámetros de salida y_k que tienen establecidos cota mínima y máxima en la matriz de requisitos de cliente de la Tabla 5.14. Dichos parámetros de salida son coincidentes con los de la Tabla 5.20. En la columna “Valor mínimo de r_k para cumplir requisitos de cliente” se incluye el cálculo intermedio de r_k para cada parámetro de salida y_k , según la formulación expuesta en el apartado 3.4.2 – fórmulas (3.46) a (3.65) -, como cálculo intermedio y paso previo al cálculo del mínimo número de accesos redundantes R para que la tecnología de acceso ADSL cumpla los requisitos de usuarios, según la aplicación de las fórmulas (3.43) a (3.45) y el flujograma de la Figura 3.7.

PARÁMETROS DE ENTRADA x_{ij} del MODELO UTEM

NOMBRE ESCENARIO:

FTTH

	Parámetro Entrada	Interfaz PC	Elemento 1	Elemento 2	Elemento 3
Identificación del elemento	Nombre del elemento	Adaptador Wireless 802.11b/g U.S. ROBOTIC S USB8054 20	Router + FTTH ONU	Nodo de acceso (OLT)	Red de Agregación
	Función del elemento	Tarjeta Fast Ethernet	Router en domicilio de cliente + Unidad de Red Óptica	Nodo de acceso (Interfaz acceso óptico)	Interfaz Agregación
Ancho de Banda	Ancho de Banda Unitario (Mbits/s) (Recepción)	100	100	100	100
	Ancho de Banda Unitario (Mbits/s) (Emisión)	100	10	10	10
Disponibilidad	Disponibilidad	99,9962%	99,9760%	99,9990%	100,0000%
Distancia	Distancia (metros)	N/A	N/A	15000	N/A
QoS	Capacidad para QoS	N/A	VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO
Redundancia	Redundancia (Nº elementos en paralelo)	1	1	1	1
LOS	LOS (Line of Sight Necesaria ?)	N/A	N/A	N/A	N/A
Banda de frecuencias	Banda (GHz)	N/A	N/A	N/A	N/A
Licencia	Necesita Licencia ?	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO
Usuarios	Nº usuarios:	1	1	N/A	N/A
Concurrencia	Concurrencia media estimada de usuarios	N/A	100,00%	N/A	N/A
Tecnología	¿Utiliza tecnología inalámbrica en algún tramo?	NO	NO	NO	NO

Entorno	VectorEntorno (URBANO DENSO / URBANO / SUBURBANO / RURAL)	(1,1,1,1)	(1,1,1,1)	(1,1,1,1)	(1,1,1,1)
Atenuación por meteorología	Disminución total de Ancho de Banda en Recepción por efectos meteorológicos (Mbits/s)	0	0	0	0
	Disminución total de Ancho de Banda en Emisión por efectos meteorológicos (Mbits/s)	0	0	0	0
Ubicuidad	Ubicuidad en domicilio de cliente	SI	N/A	N/A	N/A
Salud	Probabilidad de suscitar retenciones por riesgo para la salud (0=NINGUNA; 1=BAJA; 2=MEDIA; 3=ALTA)	1	1	0	0
K (tipo de interés)	Tipo de interés	1,00%	N/A	N/A	N/A
ARPU año 1	Ingresos medios por usuario (Año 1)	704,88 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
ARPU año 2	Ingresos medios por usuario (Año 1)	704,88 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
ARPU año 3	Ingresos medios por usuario (Año 1)	704,88 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
CAPEX año 1	Inversiones (Año 1)	15,00 €	150,00 €	150,00 €	200,00 €
CAPEX año 2	Inversiones (Año 2)	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
CAPEX año 3	Inversiones (Año 3)	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
OPEX año 1	Gastos de Operación (Año 1)	0,00 €	0,04 €	0,002 €	0,000 €
OPEX año 2	Gastos de Operación (Año 2)	0,00 €	0,04 €	0,002 €	0,000 €
OPEX año 3	Gastos de Operación (Año 3)	0,00 €	0,04 €	0,002 €	0,000 €

Tabla 5.19: Parámetros de entrada en escenario FTTH.

PARÁMETROS DE SALIDA y_k y Figuras de mérito F1 y F2

					Valoración Ponderada	
	Parámetros Salida	y_k	$a_k \cdot \bar{y}_k$	$b_p \cdot y_k$	F1	F2
VELOCIDAD DE RECEPCIÓN	Ancho de Banda MEDIO (Mbits/s por usuario)	100	1,0000	0,0000	73,38%	142,48 %/K€
VELOCIDAD DE EMISIÓN	Ancho de Banda MEDIO (Mbits/s por usuario)	10	1,0000	0,0000		
DISPONIBILIDAD	Disponibilidad	99,9712%	-0,1898	0,0000		
DISTANCIA	Distancia usuario a punto de acceso (metros)	15000	0,4997	0,0000		
	Distancia total usuario a nodo de acceso (m)	15.000	0,4997	0,0000		
ARPU año 1	Ingresos medios por usuario (Año 1)	704,88 €	0,0000	0,0000		
ARPU año 2	Ingresos medios por usuario (Año 1)	704,88 €	0,0000	0,0000		
ARPU año 3	Ingresos medios por usuario (Año 1)	704,88 €	0,0000	0,0000		
CAPEX año 1	Inversiones (Año 1)	515,00 €	0,0000	0,0000		
CAPEX año 2	Inversiones (Año 2)	0,00 €	0,0000	0,0000		
CAPEX año 3	Inversiones (Año 3)	0,00 €	0,0000	0,0000		
OPEX año 1	Gastos de Operación (Año 1)	0,04 €	0,0000	0,0000		
OPEX año 2	Gastos de Operación (Año 2)	0,04 €	0,0000	0,0000		
OPEX año 3	Gastos de Operación (Año 3)	0,04 €	0,0000	0,0000		
NPV	Valor actual neto (Net Present Value) a tipo de interés K	1.563,03 €	0,0000	0,0000		
Flujo de Caja Neto	Net Cash Flow (no se tiene en cuenta el tipo de interés K)	1.599,53 €	0,0000	0,0000		
Payback Period (años)	Período de Amortización	1,00	0,0000	0,0000		
COSTE	CapEx + OpEx (año 1)	515,04 €	0,0000	515,04 €		
QoS	Capacidad para QoS	VERDADERO	1,0000	0,0000		
LOS	LOS desde usuario a punto de acceso (Line of Sight Necesaria ?)	N/A	0,0000	0,0000		
	LOS desde punto de acceso a nodo de acceso necesaria?	N/A	0,0000	0,0000		
LICENCIA	Necesita Licencia ?	FALSO	0,0000	0,0000		
Ubicuidad	Ubicuidad en domicilio de cliente	SI	1,0000	0,0000		
Salud	Probabilidad de suscitar reticencias por riesgo para la salud (0=NINGUNA; 1=BAJA; 2=MEDIA; 3=ALTA)	1	-0,3333	0,0000		

Tabla 5.20: Parámetros de salida y_k y figuras de mérito F1 y F2 en escenario FTTH.

OBTENCIÓN DEL MÍNIMO NÚMERO DE ACCESOS REDUNDANTES R PARA CUMPLIR REQUISITOS DE CLIENTE

	Parámetros Salida	y_k	Valor mínimo de r_k para cumplir requisitos de cliente				
VELOCIDAD DE RECEPCIÓN	Ancho de Banda MEDIO por usuario en acceso (Mbits/s por usuario)	100	1	<table border="1"> <tr> <td>CONCLUSIÓN</td> </tr> <tr> <td>SÍ CUMPLE CON:</td> </tr> <tr> <td>R = 2</td> </tr> </table>	CONCLUSIÓN	SÍ CUMPLE CON:	R = 2
CONCLUSIÓN							
SÍ CUMPLE CON:							
R = 2							
VELOCIDAD DE EMISIÓN	Ancho de Banda MEDIO por usuario en acceso (Mbits/s por usuario)	10	1				
DISPONIBILIDAD	Disponibilidad	99,9712%	2				
DISTANCIA	Distancia usuario a punto de acceso (metros)	15.000	CUMPLE				
	Distancia total usuario a nodo de acceso (m)	15.000	CUMPLE				
COSTE	CapEx + OpEx (Año 1)	515,04 €	CUMPLE				
QoS	Capacidad para QoS	VERDADERO	CUMPLE				
LOS	LOS desde usuario a punto de acceso (Line of Sight Necesaria ?)	N/A	CUMPLE				
	LOS desde punto de acceso a nodo de acceso necesaria?	N/A	CUMPLE				
LICENCIA	Necesita Licencia ?	FALSO	CUMPLE				
Ubicuidad	Ubicuidad en domicilio de cliente	SI	CUMPLE				
Salud	Probabilidad de suscitar reticencias por riesgo para la salud (0=NINGUNA; 1=BAJA; 2=MEDIA; 3=ALTA)	1	CUMPLE				

Tabla 5.21: Mínimo número de accesos redundantes R para que la tecnología FTTH cumpla los requisitos de usuario establecidos.

5.2.3.3 Análisis comparativo de escenarios

El modelo ofrece la posibilidad de comparar las diferentes tecnologías de acceso en función de los datos de salida. A continuación se presenta un análisis comparativo de las 9 tecnologías de acceso mencionadas en 3 casos de requisitos de usuario de la tecnología:

- *Caso A - Usuario tipo Residencial con ancho de banda mínimo en recepción de 30 Mb/s (Datos año 2015) según objetivos Agenda Digital Europea 2020 [DIG15].*
- *Caso B – Usuario tipo PYME con ancho de banda mínimo en recepción de 300 Mb/s (Datos año 2015).*
- *Caso C – Usuario tipo Residencial con ancho de banda mínimo en recepción de 2 Mb/s (Datos año 2006) según objetivos Agenda Digital Europea i2010 [IMO10].*

Caso A. Requisitos de cliente de usuario tipo Residencial con ancho de banda mínimo en recepción de 30 Mb/s (Datos año 2015)

A continuación se presenta una tabla en la que se muestran los resultados de los parámetros de salida para cada tecnología, las figuras de mérito calculadas en función de las preferencias establecidas por el usuario del modelo y el valor mínimo R de accesos redundantes necesario para cumplir los requisitos de cliente establecidos con cada una de las tecnologías de acceso.

	TECNOLOGÍAS DE ACCESO	ADSL	ADSL // 802.11g + Backhaul WiMAX con PC	Punto a punto 2 Mbps	FTTH con router virtualizado	4G-LTE	FTTH	VDSL	Punto de acceso WiMAX + Backhaul WiMAX 802.16a	2 x ADSL	Requisitos mínimos de cliente	Pesos ak	Pesos bp
	Parámetros Salida	Valores	Valores	Valores	Valores	Valores	Valores	Valores	Valores	Valores	Valores		
VELOCIDAD DE RECEPCIÓN	Ancho de Banda MEDIO por usuario en acceso (Mbps/s por usuario)	10	10,0912	2	100	24	100	50	2,7538	20	30	1	0
VELOCIDAD DE EMISIÓN	Ancho de Banda MEDIO por usuario en acceso (Mbps/s por usuario)	3	3,0928	2	10	8	10	5	2,7641	6	3	1	0
DISPONIBILIDAD	Disponibilidad	99,96%	100,00%	99,97%	100,00%	100,00%	99,97%	99,96%	100,00%	99,96%	99,99%	0,1	0
DISTANCIA	Distancia usuario a punto de acceso (metros)	4500	45	5000	15000	15000	15000	600	3000	4500	20	1	0
	Distancia total usuario a nodo de acceso a red de transporte (m)	4.500	4.500	5.000	15.000	15.000	15.000	600	48.000	4.500	20	1	0
COSTE	CapEx+OpEx (Año 1)	315,04 €	327,04 €	3.230,00 €	390,00 €	543,00 €	515,00 €	365,00 €	370,00 €	615,00 €	N/A	0	1
QoS	Capacidad para QoS	VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO	N/A	1	0
LOS	LOS desde usuario a punto de acceso (Line of Sight Necesaria ?)	N/A	VERDADERO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	FALSO	N/A	N/A	-1	0
	LOS desde punto de acceso a nodo de red de transporte necesaria?	N/A	VERDADERO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	VERDADERO	N/A	N/A	-1	0
LICENCIA	Necesita Licencia ?	FALSO	VERDADERO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	VERDADERO	FALSO	N/A	-1	0
Ubicuidad	Ubicuidad en domicilio de cliente	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	N/A	1	0
Salud	Probabilidad de suscitar retenciones por riesgo para la salud (0=NINGUNA; 1=BAJA; 2=MEDIA; 3=ALTA)	1	2	1	1	1	1	1	1	1	N/A	-1	0
	F1 (Prestaciones)	7,94%	-22,07%	1,48%	86,32%	45,59%	83,92%	30,82%	31,40%	28,57%			
	F2 (Eficiencia económica)	25,20%	-67,49%	0,46%	221,34%	83,96%	162,96%	84,45%	84,86%	46,45%			
	R	3	3	15	2	2	2	2	26	2			

Tabla 5.22: Resumen salida de datos del modelo para unos requisitos de usuario tipo residencial con ancho de banda mínimo 30Mbps/s según [NW15][DIG11]

De igual manera, el modelo permite la representación gráfica de los resultados en aras a facilitar la toma de decisiones.

A continuación se muestra la comparativa entre las distintas tecnologías de acceso en función del valor de la figura de mérito $F1(\%)$ que da cuenta de las prestaciones de cada tecnología.

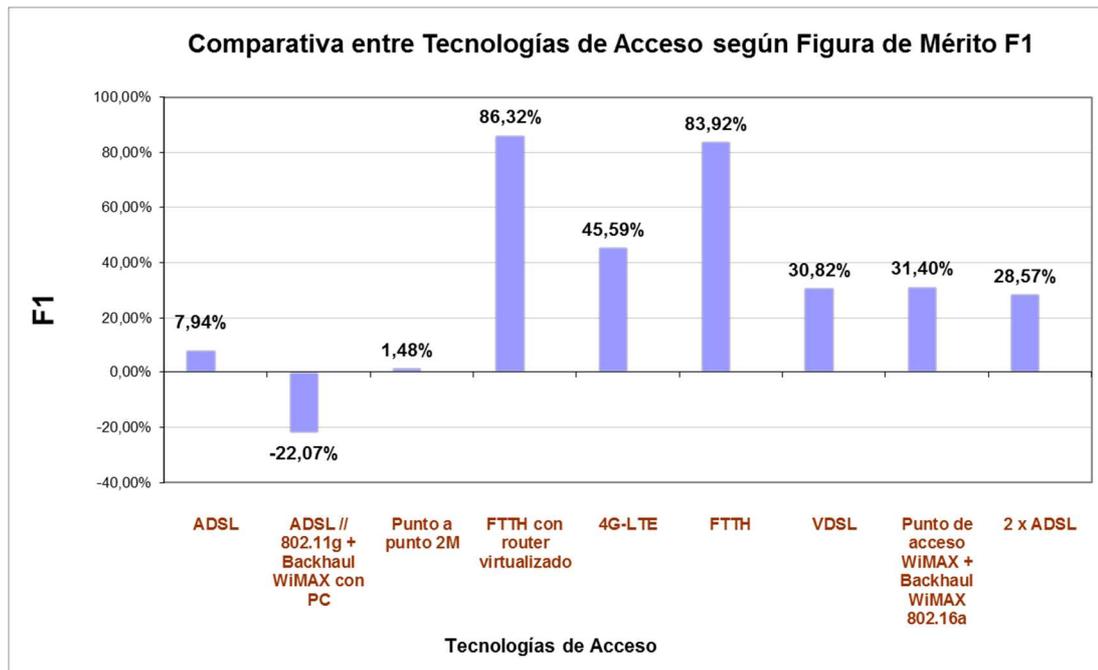


Figura 5.1: Comparativa entre tecnologías de acceso en función de las prestaciones técnicas (Figura de Mérito $F1$).

Como puede comprobarse, $F1(\%)$ puede tomar valores negativos dado que se trata de una combinación lineal de las coordenadas normalizadas del vector diferencia entre el vector tecnología y_k y el vector de requisitos de cliente u_k . En función de los pesos establecidos por el usuario y del valor de cada coordenada del vector diferencia, pueden obtenerse valores negativos. $F1(\%)$ se encuentra normalizado respecto a la referencia de prestaciones dada por el sumatorio de los pesos positivos a_k establecidos por el usuario. Pueden darse valores de $F1$ superior al 100% dado que existirán valores de coordenadas normalizadas del vector diferencia superiores a la unidad, cuando $y_k - u_k$ sea superior a $u_{\max k} - u_{\min k}$.

La figura de mérito $F1(\%)$ nos permite obtener un ranking de prestaciones. En este ejemplo, hablamos de un ranking de prestaciones técnicas dado que $a_k=0$ para el coste. En la figura anterior, y para dicho ejemplo, se obtiene máximo valor de prestaciones

técnicas F1 para la tecnología FTTH con router virtualizado, obteniéndose un valor mínimo de prestaciones técnicas F1 para el acceso ADSL en paralelo con WiMAX+Wifi 802.11g con un valor negativo debido a que se ve penalizada por la necesidad de Visión directa (LOS) y Licencias, además de una probabilidad MEDIA de suscitar reticencias por riesgo para la salud, como puede comprobarse en la tabla anterior (Tabla 5.22). Téngase en cuenta que se trata de un ejemplo y que los parámetros de entrada podrían variar en función de las fuentes de datos y componentes utilizados por el usuario del modelo.

En el siguiente gráfico se muestra la comparativa entre las distintas tecnologías de acceso en función del valor de la figura de mérito F2 que en este caso, tal y como se definió en los criterios de decisión, da cuenta del ratio prestaciones técnicas / unidad de coste económico para cada tecnología de acceso (eficiencia económica).

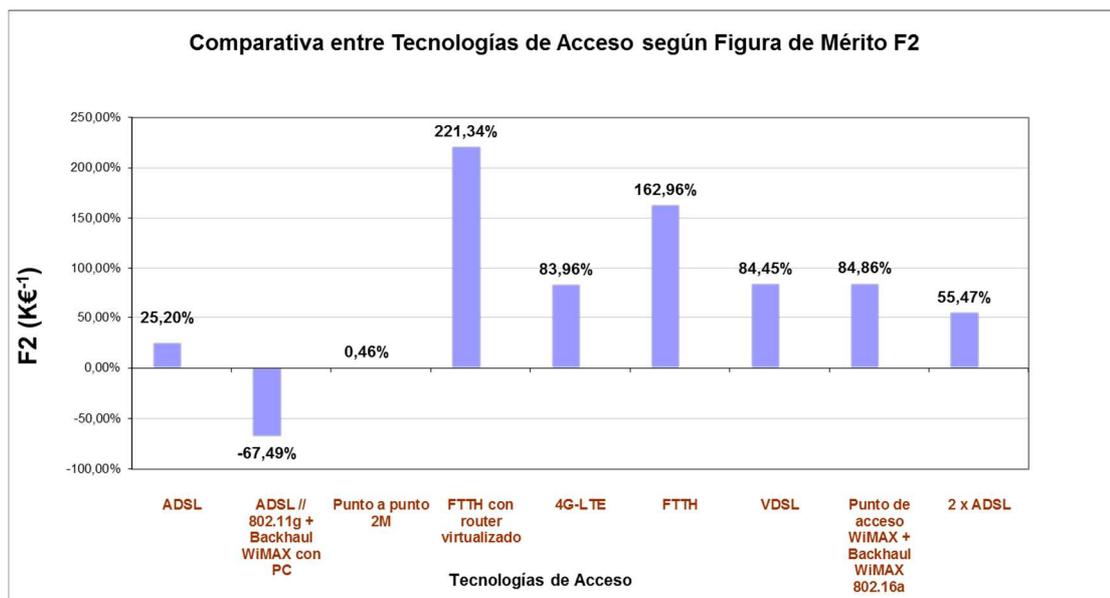


Figura 5.2: Comparativa entre tecnologías de acceso en función de la eficiencia técnico-económica F2. Las unidades de F2 en este caso son % / K€ dando cuenta de las prestaciones técnicas por unidad económica.

Las cotas máximas de eficiencia F2 se alcanzarán con valores de prestaciones del 100% o superiores (tal y como se ha puntualizado al presentar los resultados de F1) / requisito mínimo costes, de tal manera que se logran prestaciones muy elevadas con tecnología más económica. Es decir, con el parámetro eficiencia económica F2 en este ejemplo, el usuario del modelo busca máximas prestaciones técnicas a mínimo coste. En este ejemplo, el ranking obtenido proporciona valores máximos de F2 para FTTH

con router virtualizado y FTTH (FTTH con router virtualizado proporciona mayor disponibilidad y menor coste (CAPEX y OPEX) que FTTH, razón por la cual su F2 es superior). El valor mínimo se da para ADSL en paralelo con WiMAX+WiFi 802.11g debido a que el valor de prestaciones técnicas F1 obtenido es negativo como se puede comprobar en la gráfica de F1.

En la siguiente figura se presenta la comparativa entre tecnologías de acceso según el ancho de banda medio de recepción.

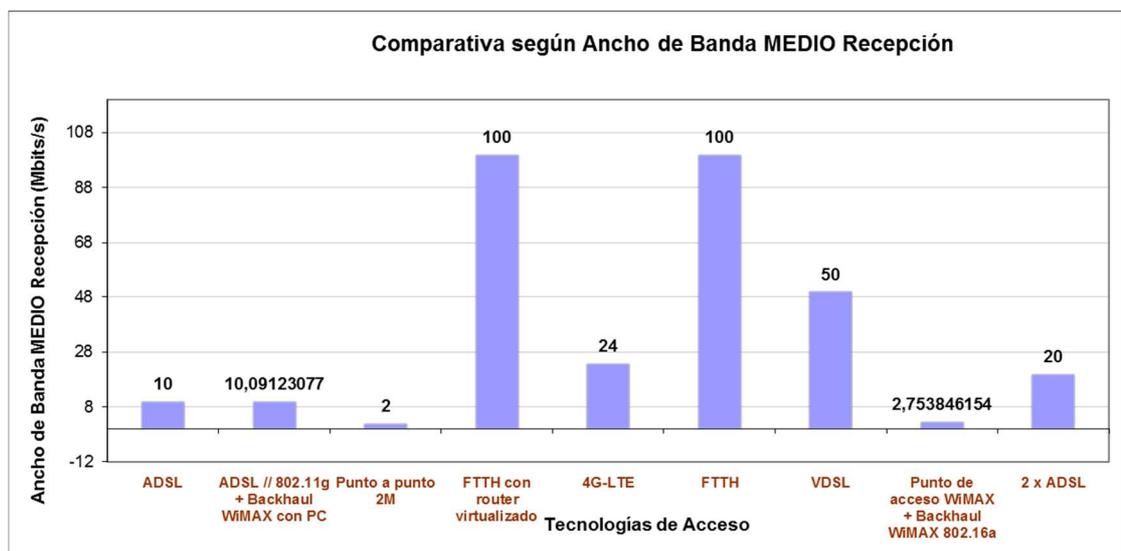


Figura 5.3: Comparativa entre tecnologías de acceso en función del Ancho de Banda Medio de Recepción.

A continuación se procede a comparar las tecnologías de acceso en función del ancho de banda medio de emisión.

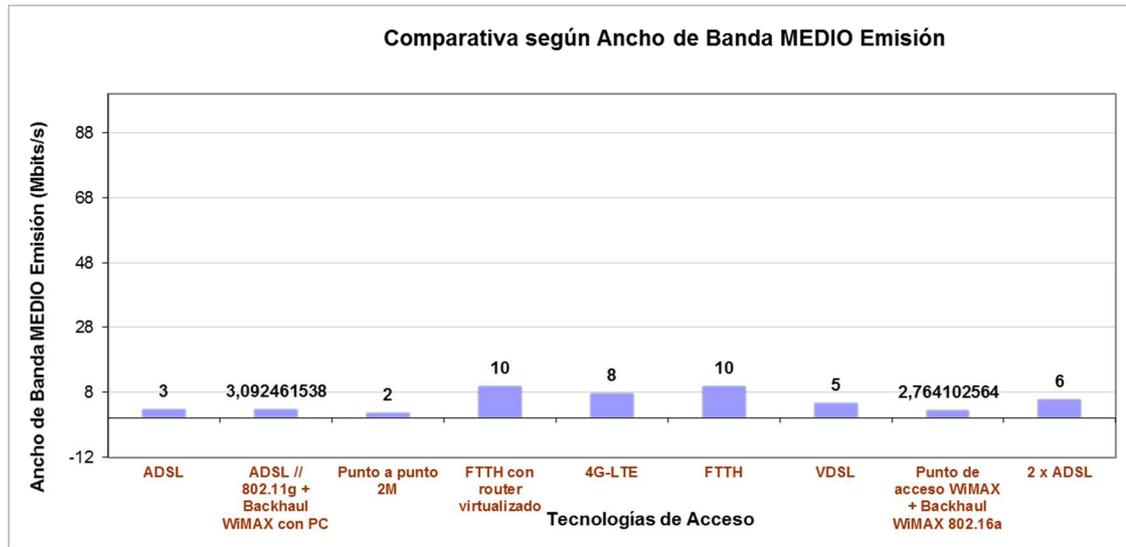


Figura 5.4: Comparativa entre tecnologías de acceso en función del Ancho de Banda Medio de Emisión.

Así también, se representa gráficamente la comparativa entre tecnologías de acceso utilizando el criterio de disponibilidad.

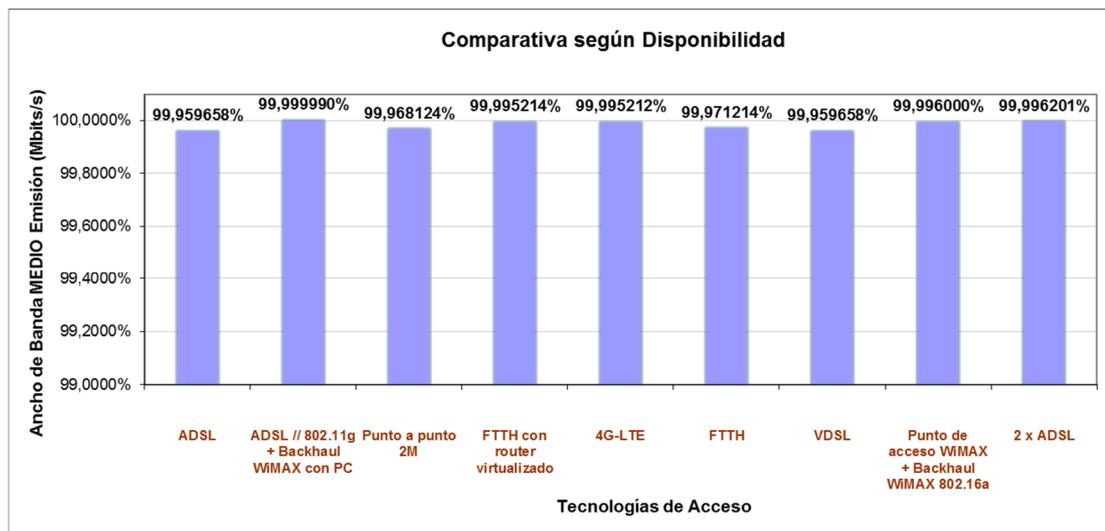


Figura 5.5: Comparativa entre tecnologías de acceso en función de la Disponibilidad.

Por último, se muestra la representación gráfica de la comparativa entre tecnologías de acceso en función del número mínimo N de accesos redundantes necesario para cumplir los requisitos de cliente con cada tecnología de acceso.

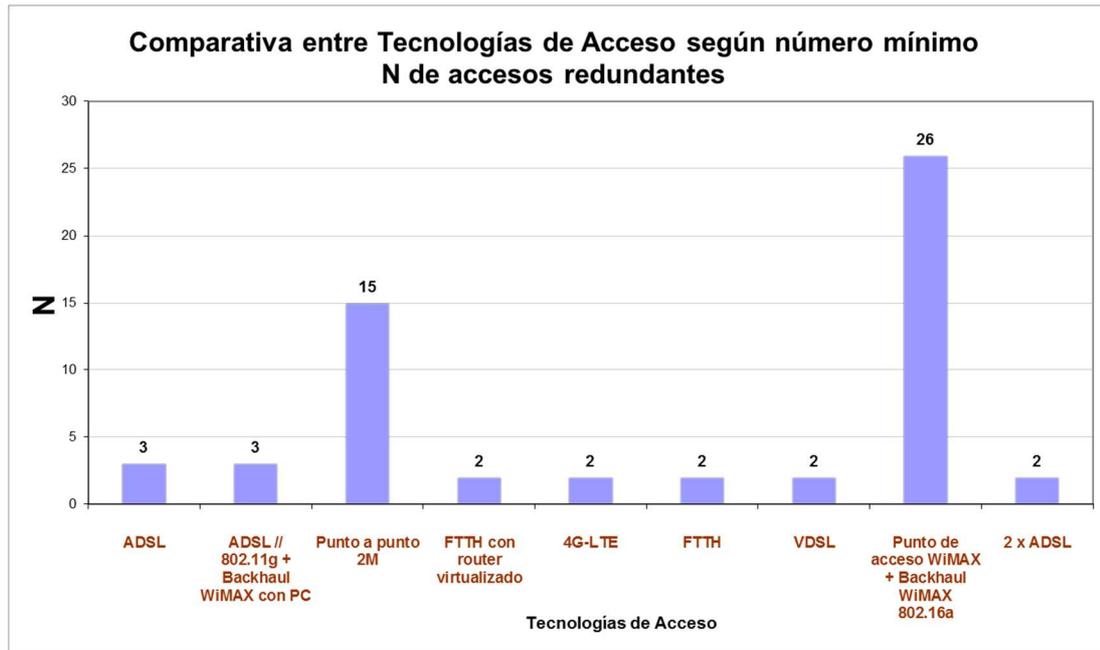


Figura 5.6: Comparativa entre tecnologías de acceso en función del número mínimo de accesos redundantes necesarios para cumplir los requisitos de cliente establecidos en este caso de uso como ejemplo.

Se han mostrado comparativas gráficas utilizando una única variable. Sería igualmente posible a partir de la tabla de resultados de salida presentar gráficas que contemplen dos e incluso más variables, de tal modo que puedan tomarse decisiones en función de los cuadrantes ó regiones en los cuales se sitúe cada tecnología.

A continuación se muestran dos gráficas que contemplan la figura de mérito F1 (prestaciones) vs. Coste económico anual por usuario y la figura de mérito F2 (eficiencia económica) vs. Coste económico anual por usuario, respectivamente.

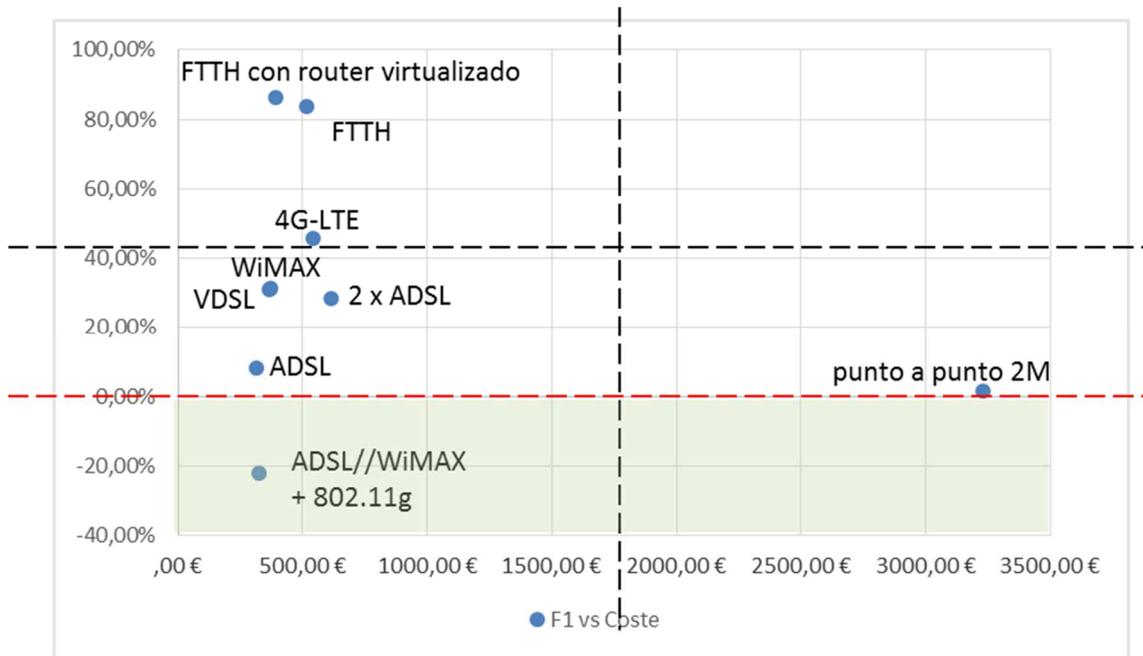


Figura 5.7: Ejemplo de comparativa gráfica de tecnologías de acceso en función de las prestaciones F1 (%) vs. Coste económico anual por usuario.

En la gráfica las rectas que determinan los cuadrantes se situan en la mitad del rango de valores reales positivos para cada eje con el fin de tener una referencia gráfica. La región de valores negativos de F1 se descarta (sombreada en la figura). Por tanto, la vertical está situada en el valor económico correspondiente al coste ADSL más la mitad de la diferencia entre el coste punto a punto 2M y el coste ADSL. La recta horizontal está ubicada en el valor porcentual correspondiente al valor de F1 de ADSL más la mitad de la diferencia entre el valor de F1 para FTTH con router virtualizado y el de F1 para ADSL. Por tanto, las tecnologías pueden clasificarse en función del cuadrante que ocupan, teniendo en cuenta que se están comparando siempre en base a unos criterios de usuario únicos, en:

- + prestaciones y - coste: En este ejemplo, FTTH con router virtualizado, FTTH, 4G-LTE
- - prestaciones y - coste: En este ejemplo, VDSL, WiMAX, 2 x ADSL, ADSL. La tecnología ADSL // WiMAX + 802.11g se descarta por proporcionar valor negativo de F1.
- + prestaciones y + coste: En este ejemplo ninguna.
- - prestaciones y + coste: En este ejemplo, punto a punto 2M.

El cuadrante óptimo es el de + prestaciones y – coste. El cuadrante menos beneficioso es el de – prestaciones y + coste. Se descartarán por defecto las tecnologías con valores negativos de F1.

A continuación se muestra la comparativa gráfica de tecnologías de acceso en función de la eficiencia económica F2 vs. Coste económico anual por usuario.

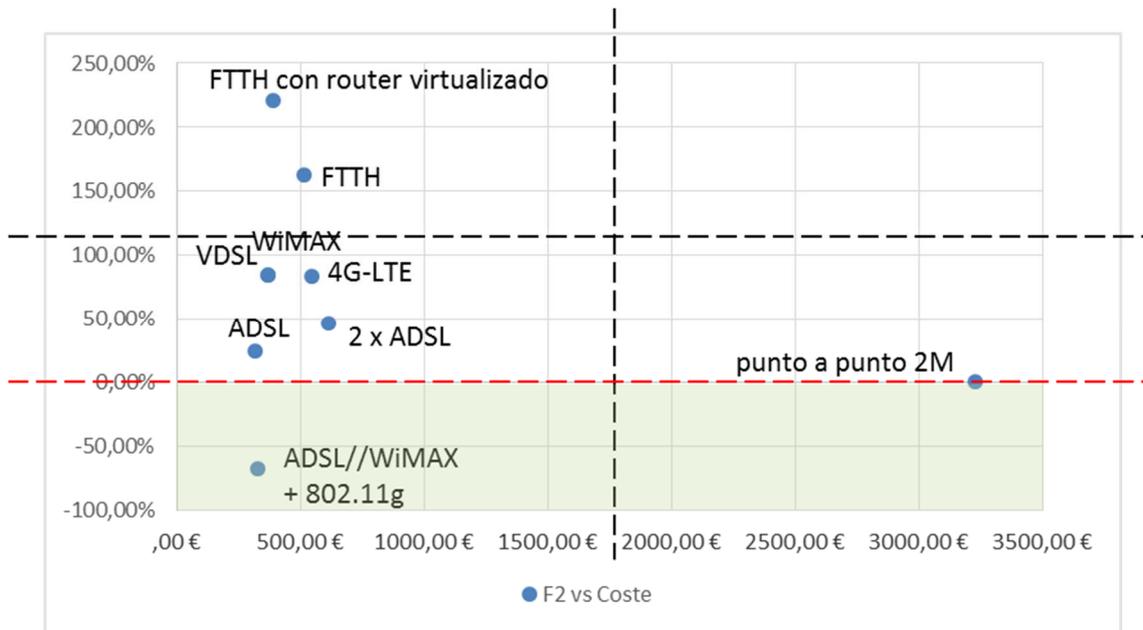


Figura 5.8: Ejemplo de comparativa gráfica de tecnologías de acceso en función de la eficiencia F2 (%/€) vs. Coste económico anual por usuario.

El criterio de establecimiento de las rectas que delimitan los cuadrantes es idéntico al de la gráfica F1 vs. Coste, permitiendo la siguiente clasificación de tecnologías de acceso en base al cuadrante que ocupan:

- + eficiencia y - coste: En este ejemplo, FTTH con router virtualizado y FTTH.
- - eficiencia y – coste: En este ejemplo, VDSL, WiMAX, 4G-LTE, ADSL y 2xADSL. Se descarta ADSL//WiMAX+802.11g por proporcionar valor negativo de F2.
- + eficiencia y + coste: En este ejemplo ninguna.
- - eficiencia y + coste: En este ejemplo, punto a punto 2M.

El cuadrante óptimo es del de + eficiencia y – coste. El cuadrante menos beneficioso es el de – eficiencia y + coste. Se descartarán por defecto las tecnologías con valores negativos de F2.

Esta clasificación en base a F2 vs. Coste permite en una primera iteración identificar el cuadrante de estudio en el que focalizar posteriores iteraciones. En este ejemplo, el

cuadrante óptimo identifica a las tecnologías FTTH con router virtualizado y FTTH. Por tanto, el usuario del modelo puede plantear una segunda iteración de cara a discriminar entre dichas tecnologías bien planteando una variación en los componentes del acceso o acudiendo a otras fuentes de datos de cara a afinar la introducción de los parámetros de entrada y proseguir el refinado.

En este ejemplo, el refinado a realizar en el cuadrante óptimo considerando tanto F2 como el coste podría derivar en decisiones de despliegue de FTTH con router virtualizado donde esté disponible dicha tecnología debido a sus mayores prestaciones técnicas, FTTH en el caso de que no exista virtualización posible o incluso avanzar hacia el segundo cuadrante más beneficioso (- eficiencia, - coste) planteando WiMAX para usuarios en movilidad e incluso debido a su menor coste, VDSL para usuarios fijos en lugar de FTTH, como es el caso de la decisión que tomó el operador TELENOR en Noruega [NW15].

En las comparativas gráficas bivariadas presentadas debe tenerse en cuenta que los resultados se encuentran condicionados por los criterios de decisión establecidos que determinan los coeficientes de los polinomios que componen las figuras de mérito F1 y F2. Ha de tenerse en cuenta que, según el criterio establecido en este caso, el polinomio denominador en la figura de mérito F2 es el coste económico, razón por la cual se considera que F2, en este caso, está dando cuenta de la eficiencia económica de cada tecnología de acceso.

La interpretación de las gráficas variará naturalmente en función del agente que esté utilizando el modelo.

El modelo permite igualmente cambiar los criterios de decisión y los requisitos de cliente, de tal forma que los valores de las figuras de mérito F1 y F2, así como el valor mínimo N de accesos redundantes variará. Así también, se modificará el significado de la figura de mérito F2 dado que se trata de un cociente de polinomios en cuyo denominador se pueden activar unas u otras variables con tal de que sean de la misma naturaleza con el fin de garantizar una interpretación consistente, tal y como se estableció en el Capítulo Modelo Propuesto.

Caso B. Requisitos de cliente de usuario tipo PYME con ancho de banda mínimo en recepción de 300 Mbits/s (Datos año 2015)

A continuación se considerarán como ejemplo unos requisitos de cliente de usuario tipo PYME media en Europa, considerando que dicha PYME trabaja en el sector servicios y requiere de unos requisitos elevados de ancho de banda 3 veces superiores a los de un usuario residencial con uso intensivo de UHD TV 4K debido a que presta servicios de consultoría e ingeniería con usuarios en movilidad que acceden remotamente a los escritorios de sus PCs en la oficina y necesidad de enviar gráficos y planos, por lo que se estable un requisito de ancho de banda mínimo en recepción de 300 Mbits/s.

A continuación se muestra la tabla comparativa de resultados ofrecida por el modelo propuesto UTEM para este ejemplo de usuario tipo PYME.

TECNOLOGÍAS DE ACCESO	ADSL	ADSL // 802.11g + Backhaul WiMAX con PC	Punto a punto 2M	FTTH con router virtualizado	4G-LTE	FTTH	VDSL	Punto de acceso WiMAX + Backhaul WiMAX 802.16a	2 x ADSL	Requisitos mínimos de cliente	Pesos ak	Pesos bp
	Valores	Valores	Valores	Valores	Valores	Valores	Valores	Valores	Valores	Valores		
VELOCIDAD DE RECEPCIÓN	Ancho de Banda MEDIO por usuario en acceso (Mbps/s por usuario)											
VELOCIDAD DE EMISIÓN	Ancho de Banda MEDIO por usuario en acceso (Mbps/s por usuario)											
DISPONIBILIDAD	Disponibilidad											
DISTANCIA	Distancia usuario a punto de acceso (metros)											
	Distancia total usuario a nodo de acceso (m)											
COSTE	CAPEX+OPEX (Año1)											
QoS	Capacidad para QoS											
LOS	LOS desde usuario a punto de acceso (Line of Sight Necesaria ?)											
	LOS desde punto de acceso a nodo de red de acceso necesaria?											
LICENCIA	Necesita Licencia ?											
Ubicuidad	Ubicuidad en domicilio de cliente											
Salud	Probabilidad de suscitar retenciones por riesgo para la salud (0=NINGUNA; 1=BAJA; 2=MEDIA; 3=ALTA)											
F1 (Prestaciones)	-11,44%	-37,72%	-10,17%	9,47%	5,39%	4,62%	-11,47%	-7,46%	-2,36%			
F2 (Eficiencia económica)	-36,32%	-115,35%	-3,15%	24,27%	9,93%	8,96%	-31,43%	-20,15%	-3,84%			
N	30	30	150	3	13	3	6	253	15			

Tabla 5.23: Comparativa de resultados ofrecida por el modelo propuesto UTEM para este ejemplo de usuario tipo PYME.

A continuación se muestran los gráficos comparativos de prestaciones técnicas F1 y eficiencia económica F2 para el ejemplo de usuario tipo PYME.

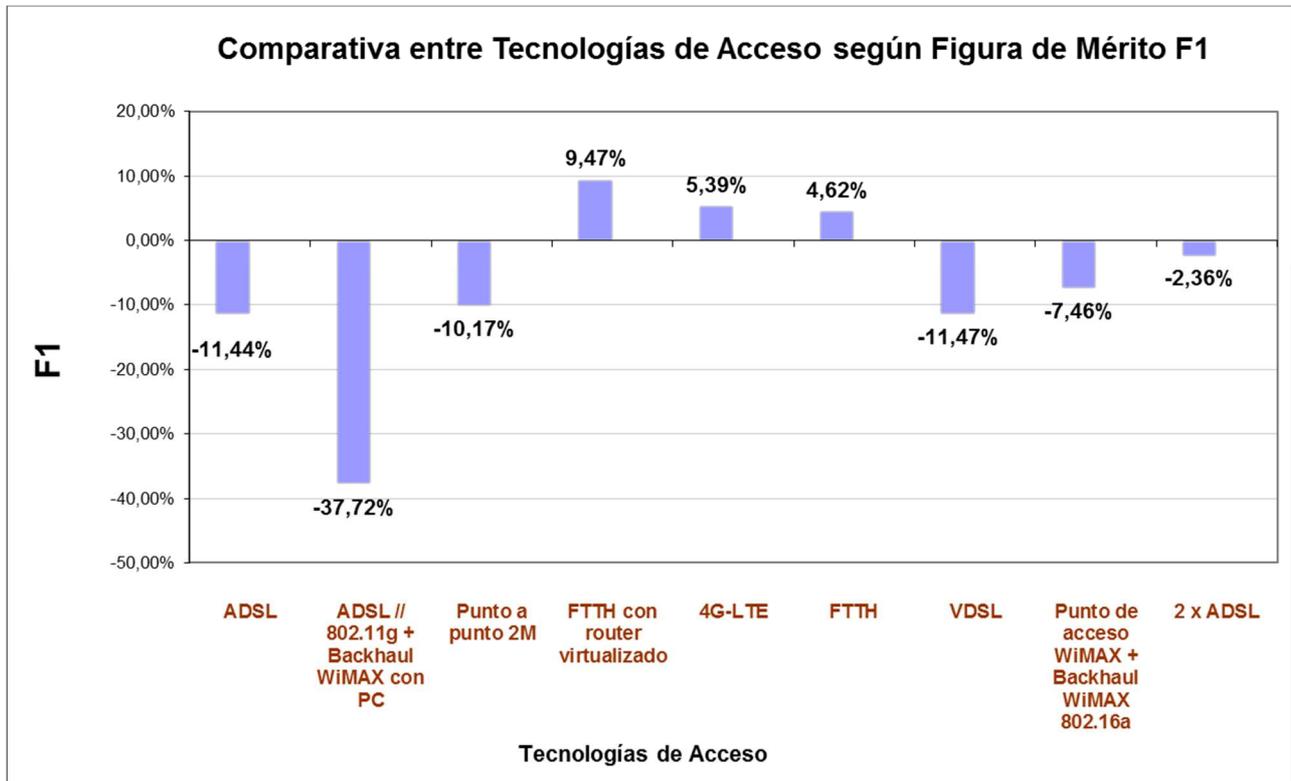


Figura 5.9: Comparativa de tecnologías de acceso según prestaciones técnicas F1 para ejemplo de requisitos de cliente usuario tipo PYME

En este caso la Figura 5.9 identifica las tecnologías FTTH con router virtualizado, 4G-LTE y FTTH como las tecnologías que cumplen los requisitos de cliente establecidos en este ejemplo. El resto de tecnologías presentan valores negativos de F1 por lo que han de descartarse.

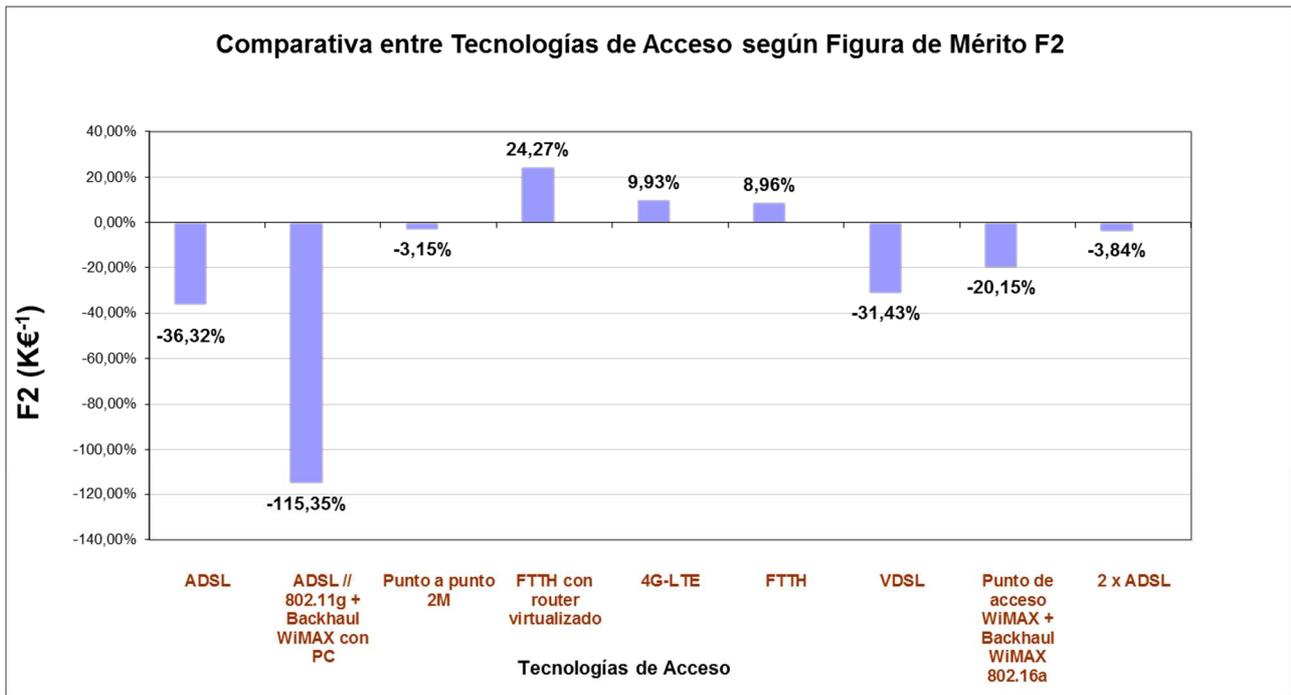


Figura 5.10: Comparativa de tecnologías de acceso según eficiencia económica F2 para ejemplo de requisitos de cliente usuario tipo PYME

La comparativa en base a la eficiencia económica F2 identifica las tres tecnologías mencionadas anteriormente con eficiencia económica positiva destacando FTTH con router virtualizado como la más eficiente en este ejemplo.

CASO C. Requisitos de cliente de usuario tipo Residencial con ancho de banda mínimo en recepción de 2 Mbits/s (Datos año 2006).

A continuación se considerarán como ejemplo los requisitos de cliente de un usuario tipo Residencial en el año 2006 que cumple con los requisitos establecidos según la Estrategia Europea de Lisboa y la Agenda Digital i2010 con un ancho de banda mínimo en recepción de 2 Mbits/s [GAP07][DIG11].

A continuación se muestra la tabla comparativa de escenarios para este ejemplo de requisitos de cliente. Téngase en cuenta que la tecnología 4G-LTE no se encontraba disponible en 2006. Aun así, se mantiene en el estudio con el objeto de permitir su comparación con otras tecnologías bajo estos requisitos establecidos como ejemplo.

TECNOLOGÍAS DE ACCESO	ADSL	ADSL // 802.11g + Backhaul WiMAX con PC	Punto a punto 2M	FTTH con router virtualizado	4G-LTE	FTTH	VDSL	Punto de acceso WiMAX + Backhaul WiMAX 802.16a	2 x ADSL	Requisitos mínimos de cliente	Pesos ak	Pesos bp	
	Parámetros Salida	Valores	Valores	Valores	Valores	Valores	Valores	Valores	Valores	Valores			
VELOCIDAD DE RECEPCIÓN	Ancho de Banda MEDIO por usuario en acceso (Mbits/s por usuario)	10	10,0912	2	100	24	100	50	2,7538	20	2	1	0
VELOCIDAD DE EMISIÓN	Ancho de Banda MEDIO por usuario en acceso (Mbits/s por usuario)	3	3,0925	2	10	8	10	5	2,7641	6	0,2	1	0
DISPONIBILIDAD	Disponibilidad	99,9597%	100,000 %	99,9681%	99,9952%	99,9952%	99,9712%	99,9597%	99,9960%	99,9962%	99,99%	0,1	0
DISTANCIA	Distancia usuario a punto de acceso (metros)	4500	45	5000	15000	15000	15000	600	3000	4500	20	1	0
	Distancia total usuario a nodo de acceso (m)	4.500	4.500	5.000	15.000	15.000	15.000	600	48.000	4.500	20	1	0
COSTE	CAPEX + OPEX (Año 1)	315,04 €	327,04 €	3.230,00 €	390,00 €	543,00 €	515,00 €	365,00 €	370,00 €	615,00 €	N/A	0	1
QoS	Capacidad para QoS	VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO	N/A	1	0
LOS	LOS desde usuario a punto de acceso (Line of Sight Necesaria ?)	N/A	VERDADERO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	FALSO	N/A	N/A	-1	0
	LOS desde punto de acceso a nodo de acceso necesaria?	N/A	VERDADERO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	VERDADERO	N/A	N/A	-1	0
LICENCIA	Necesita Licencia ?	FALSO	VERDADERO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	VERDADERO	FALSO	N/A	-1	0
Ubicuidad	Ubicuidad en domicilio de cliente	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	N/A	1	0
Salud	Probabilidad de suscitar retenciones por riesgo para la salud (0=NINGUNA; 1=BAJA; 2=MEDIA; 3=ALTA)	1	2	1	1	1	1	1	1	1	N/A	-1	0
F1 (Prestaciones)		75,83%	47,07%	47,31%	350,35%	191,93%	347,95%	172,27%	173,69%	145,49%			
F2 (Eficiencia económica)		240,71%	143,92%	14,65%	898,33%	353,47%	675,63%	471,96%	469,44%	236,57%			
N		2	2	2	2	2	2	2	2	2			

Tabla 5.24. Comparativa de escenarios para ejemplo con requisitos de cliente de usuario tipo Residencial y ancho de banda mínimo en recepción de 2 Mbits/s según criterios establecidos por la Estrategia Europea de Lisboa y Agenda Europea i2010 [GAP07][DIG11].

A continuación se muestra el gráfico comparativo de escenarios en base a la figura de mérito de prestaciones técnicas F1 (%).

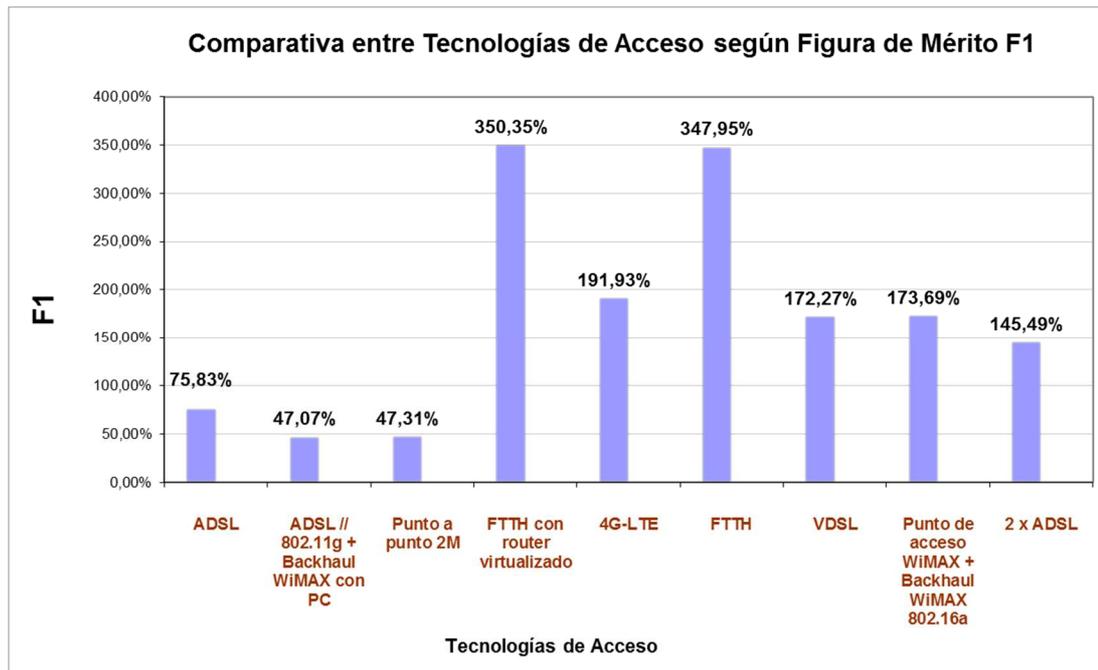


Figura 5.11: Comparativa de escenarios en base a las prestaciones técnicas F1 con ejemplo de requisitos de cliente usuario tipo Residencial en el año 2006 según requisitos Agenda Europea i2010 [GAP07][DIG11].

Descartaremos en el gráfico las tecnologías inexistentes en 2006 como 4G-LTE y FTTH con router virtualizado. Puede comprobarse como el ranking de prestaciones técnicas F1, lo encabeza a mucha distancia FTTH seguido de WiMAX, VDSL; 2xADSL y ADSL que eran las alternativas de despliegue existentes en aquel momento.

A continuación se muestra la comparativa de escenarios en base a la eficiencia económica F2.

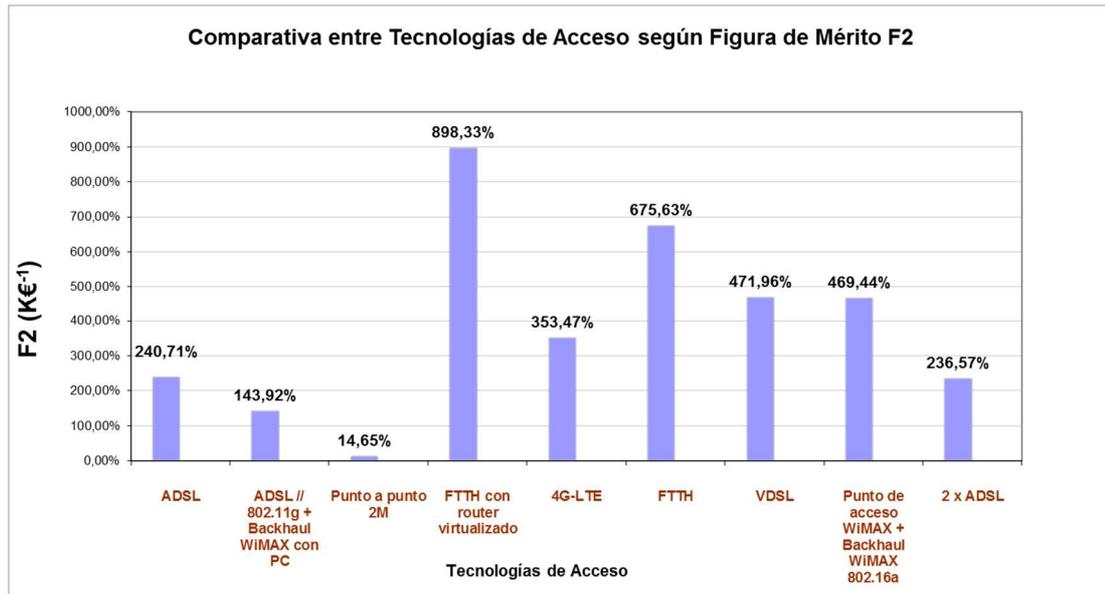


Figura 5.12: Comparativa de escenarios en base a la eficiencia económica F2 en el ejemplo del Caso C (Año 2006).

Como puede comprobarse, descartando los escenarios FTTH con router virtualizado y 4G-LTE por inexistentes en 2006, la mayor eficiencia económica corresponde a FTTH seguido de VDSL, WiMAX, ADSL y 2 x ADSL.

Téngase en cuenta que en este caso, por simplicidad, se han variado exclusivamente los requisitos de ancho de banda manteniendo el resto de requisitos idénticos al Caso A. Cualquier variación incremental de los costes de FTTH para ajustar a la situación real de despliegue de FTTH en 2015, identificaría la tecnología VDSL como la más proclive a desarrollar en zonas con par de cobre desplegado y la tecnología WiMAX en zonas rurales por razones de eficiencia económica, como realmente fue la tendencia durante el período 2006-2011 correspondiente a la Agenda Europea i2010 [GAP07][DIG11].

5.2.3.4 Conclusiones

Según lo expuesto, el modelo propuesto permite establecer requisitos de cliente de cara a comprobar qué tecnologías de acceso y bajo qué condiciones permiten cumplir determinados requisitos. Por ejemplo, el modelo propuesto permite analizar el cumplimiento de requisitos de las tecnologías de acceso para soportar la predicción de

la firma de análisis Analysis Mason en cuanto a la TV de UHD 4K / 8K como Killer Application [NW15] tal y como se ha podido comprobar en el primer ejemplo, al haber elegido como requisitos de cliente los establecidos por dicha predicción, que a su vez son coherentes con los objetivos de la Agenda Digital Europea 2020 [DIG11].

En el presente apartado, se han mostrado los resultados del modelo propuesto en aproximación “micro” utilizando la metodología de aplicación aislada descrita en el Capítulo Metodología. Se ha comprobado que el mismo es aplicable a tecnologías de diferente naturaleza: fijas e inalámbricas, y a cualquier combinación de ellas mediante la utilización de los submodelos serie y paralelo descritos en el Capítulo Modelo Propuesto.

Como ya se ha mencionado con anterioridad, el modelo se ha validado utilizando las tecnologías fijas e inalámbricas que están sopesando la mayor parte de los operadores de telecomunicaciones de todo el mundo. En cualquier caso, se trata de un modelo universal que puede aplicarse perfectamente a tecnologías móviles como GSM, UMTS, ... comunicaciones vía satélite, free-space optics (FSO), etc., así como a tecnologías de acceso virtualizadas.

Tal y como se señaló al comienzo del presente capítulo, se han presentado los resultados del modelo propuesto considerando como ejemplo los requisitos de cliente final y criterios de decisión expuestos, independientemente de quién o qué tipo de agente del mercado sea el usuario del modelo propuesto (usuario final de la tecnología, operador de telecomunicaciones – área infraestructuras, área control económico, área soporte técnico preventa, etc. - , regulador, etc.).

5.3 Validación Cuantitativa en Escenarios de Aplicación Combinada del Modelo

De cara a validar los resultados del modelo UTEM en aproximación “macro” (‘top-down’), utilizando la metodología de Aplicación Combinada, se contemplan, por ejemplo, los datos topológicos del modelo de la literatura [PF09] por tratarse del modelo mejor posicionado en el ranking presentado en el apartado 2.5.

Siguiendo la metodología desarrollada de aplicación integrada del modelo: Paso 1: “Obtención de datos de otros modelos”, al mapear los datos topológicos procedentes de [PF09] en el modelo UTEM identificando los diferentes componentes del acceso individual e incorporar en el Paso 2: “Incorporar como entradas las salidas de otros modelos”, la información derivada del conjunto de la red de acceso en los parámetros económicos de entrada: ingresos/ARPU y coste (CAPEX, OPEX), y aplicar el Paso 3: “Aplicación de la Metodología Aislada del Modelo”, se llega a la conclusión de que los resultados de salida técnicos que se obtienen en aproximación “macro” son los mismos resultados de aplicar el modelo por sí solo en aproximación “micro” siguiendo los pasos expuestos en el Capítulo Metodología:

1. Sistematizar la descripción del acceso
2. Aplicación del Módulo de Caracterización de Tecnologías de Acceso
3. Aplicación del Módulo Cálculo de Redundancia
4. Aplicación del Módulo de Comparación de Tecnologías de Acceso
5. Elección de la tecnología y configuración del acceso

Dado que la formulación de los parámetros económicos es universal e idéntica en todos los modelos de la literatura y en el modelo propuesto UTEM, los resultados económicos a nivel “macro” serán siempre coincidentes con los del modelo importado, permitiendo el modelo UTEM complementar siempre la salida económica de cualquier otro modelo con la caracterización técnica de la tecnología de acceso y configuración en estudio.

Ahora bien, si en el futuro surgieran modelos que desarrollaran la evaluación de la viabilidad técnica, sería posible importarlos según se describe en la metodología, así como contrastar los resultados técnicos fruto de la aplicación del modelo UTEM tanto en aproximación “macro” como en aproximación “micro”, dado que según lo expuesto, los resultados técnicos en ambos casos son coincidentes.

5.4 Validación Cuantitativa de la capacidad predictiva del modelo

A continuación, en la Figura 5.13 se muestra la evolución de la eficiencia económica F2 en el tiempo, obtenida incorporando en el modelo propuesto, la evolución de coste anual por usuario para las tecnologías de acceso ADSL y FTTH. Fuente: OVUM 2015 [OVU15a][OVU15b].

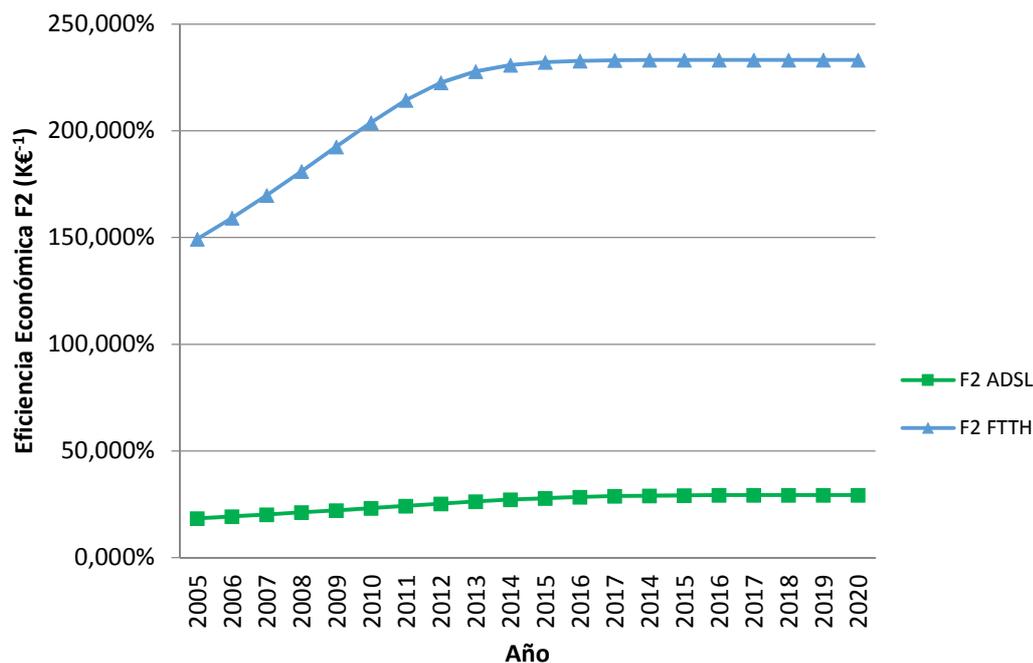


Figura 5.13: Evolución de F2 para las tecnologías de acceso ADSL y FTTH. Gráfica obtenida incorporando la evolución de coste anual por usuario para ADSL y FTTH según datos obtenidos de [OVU15a][OVU15b].

Considerando la evolución de la eficiencia económica F2 para ambas tecnologías ADSL y FTTH y recordando que F2 da cuenta de las prestaciones técnicas por unidad de coste, se desprende de la Figura 5.13 que el punto a partir del cual resultará más rentable para un operador de telecomunicaciones iniciar el despliegue masivo de tecnología FTTH es aquél a partir del cual la curva de evolución F2 alcanza la saturación (máximas prestaciones por unidad de coste), lo cual se produce prácticamente en el período 2014-2015.

Se procede a contrastar dicha hipótesis con datos reales de evolución del mix de tecnologías de acceso xDSL vs. FTTH en varios países.

A continuación se muestra la evolución real y predicción hasta el año 2020 del mix de accesos xDSL vs. FTTH en Suecia. Fuente: Analysis Mason 2015 [MAS15b].

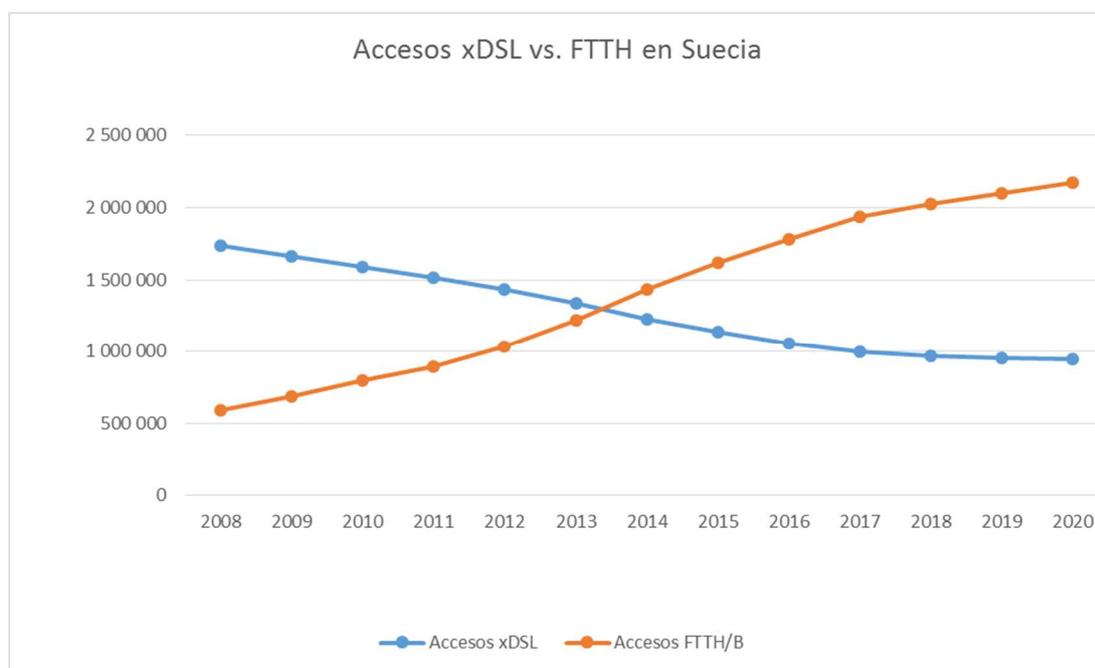


Figura 5.14: Evolución de accesos xDSL vs. FTTH en Suecia. Fuente: Analysis Mason 2015 [MAS15b].

Puede comprobarse que la mayor pendiente de crecimiento de accesos FTTH en Suecia corresponde al año 2014, momento en el que el número de accesos FTTH supera al número de accesos xDSL en decrecimiento, dado que se va produciendo la sustitución de accesos xDSL por accesos FTTH, lo cual resulta coherente con el período de saturación identificado para la eficiencia económica F2.

En la siguiente figura se muestra dicha evolución de accesos en este caso particularizada para el Reino Unido. Fuente: Analysis Mason 2015 [MAS15b].

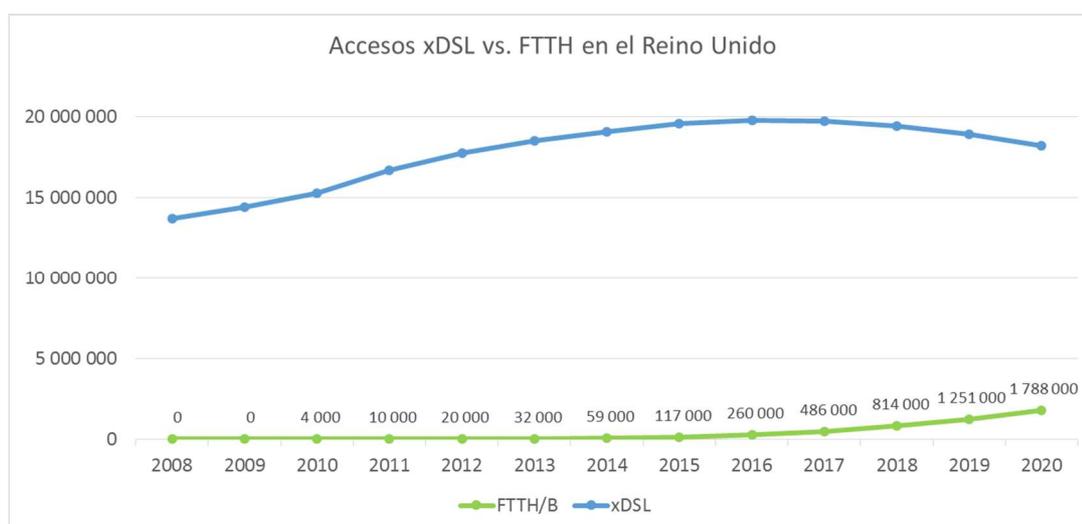


Figura 5.15: Evolución de accesos xDSL vs. FTTH en Reino Unido. Fuente: Analysis Mason 2015 [MAS15b]

Como puede apreciarse en la figura, en el Reino Unido el despliegue de FTTH es más modesto que en Suecia, comienza en el año 2010 y comienza a acelerar en 2014, 2015 y se prevé en 2016 según [REFERENCIA], lo cual resulta coherente con el período de saturación identificado para la eficiencia económica F2.

En la siguiente figura, puede verse la evolución en España, acelerando el despliegue de FTTH en 2014 con máxima pendiente en 2015 y previendo ritmo sostenido, sustituyendo progresivamente la planta xDSL por FTTH, lo cual coincide también con el período de saturación identificado para la eficiencia económica F2.

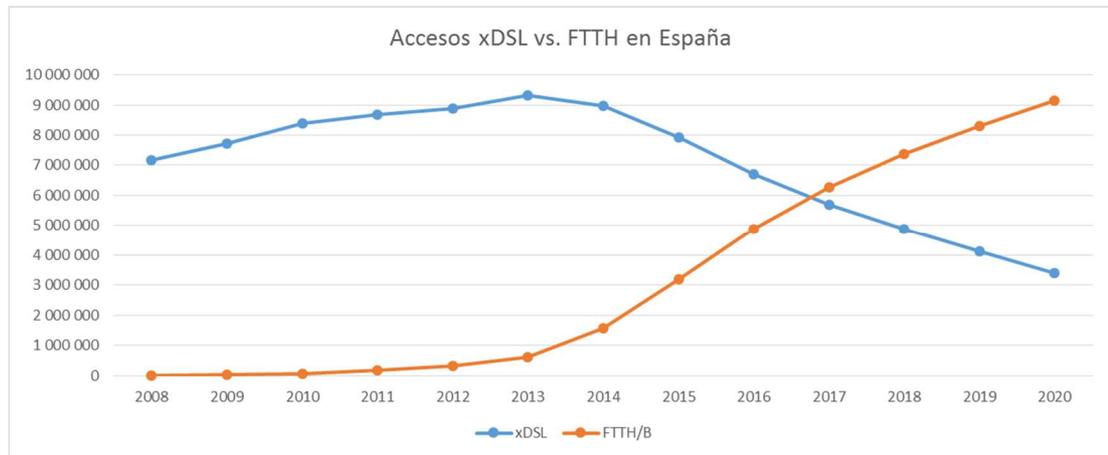


Figura 5.16: Evolución de accesos xDSL vs. FTTH en España. Fuente: Analysis Mason 2015 [MAS15b]

Por todo lo cual, se concluye que ha quedado contrastada y validada con datos reales de evolución de las tecnologías de acceso xDSL y FTTH, la hipótesis planteada a partir de la gráfica de evolución de la eficiencia económica F2, obtenida incorporando en el modelo propuesto la evolución de costes anuales por usuario según [MAS15b].

5.5 Validación resultados del modelo con resultados de otros modelos

El modelo propuesto UTEM aporta resultados técnicos y resultados económicos, además del mínimo número de accesos redundantes necesario para cumplir los requisitos de cliente, así como las figuras de mérito de prestaciones tecno-económicas F1 y eficiencia tecno-económica F2.

Dado que los modelos de la literatura no proporcionan resultados técnicos pero sí resultados económicos, se procede a validar la hipótesis de que los resultados económicos del modelo propuesto UTEM son coherentes con los resultados económicos del modelo de la literatura con mejor cumplimiento en el ranking [PF09].

Dado que los parámetros económicos de salida del modelo UTEM utilizan una formulación universal, pongamos por ejemplo, la formulación del Valor Actual Neto VAN o NPV (Net Present Value), idéntica a la formulación de dicho parámetro en el modelo [PF09], a igualdad de parámetros de entrada de Ingresos, CapEx y OpEx, el resultado será exactamente el mismo, quedando de esta manera validada y demostrada la hipótesis planteada para cualquier escenario.

Cabe destacar que el modelo propuesto UTEM aporta, además del análisis y evaluación de la viabilidad económica de las tecnologías de acceso, la caracterización técnica de las mismas, el análisis y comparación técnicos, y la evaluación de su viabilidad desde el punto de vista técnico, considerando los requisitos establecidos por el usuario del modelo.

5.6 Conclusiones

En el presente Capítulo se ha contrastado la hipótesis planteada en capítulo introductorio, validando cualitativa y cualitativamente el modelo tecno-económico propuesto UTEM y la metodología de aplicación desarrollada.

Se ha realizado una validación funcional en base a las características del modelo técnico-económico teórico expuestas en el Capítulo Estado del Arte, concluyendo que el modelo UTEM presenta un mayor grado de cumplimiento de dichas características con respecto a los modelos de la literatura. Concretamente, el modelo UTEM presenta un cumplimiento de un 91% respecto al 56% del modelo con mayor grado de cumplimiento de la literatura [PF09].

Se ha realizado una validación cuantitativa del modelo UTEM en 9 escenarios con aproximación “micro”, utilizando la metodología de Aplicación Aislada, y se ha presentado también un análisis comparativo de las 9 tecnologías de acceso mencionadas en 3 casos diferentes de requisitos de usuario de la tecnología con datos de 2015 y datos de 2006, quedando en este punto validadas todas las características

expuestas para el modelo UTEM a excepción de la característica Universalidad Geográfica, cuya validación queda demostrada con la validación cuantitativa del modelo UTEM en escenarios de Aplicación Combinada.

Así también, se ha validado cuantitativamente la capacidad de predicción del modelo contrastando sus resultados con la predicción de la firma de análisis Analysis Mason, mostrando que el período de saturación de la evolución de F2 en el tiempo para la tecnología FTTH corresponde a períodos de decisión de despliegue masivo por parte de los operadores de telecomunicaciones en 3 países europeos.

Ha quedado también demostrada la validación cuantitativa de resultados del modelo UTEM con resultados de otros modelos, dado que utilizan la misma formulación universal en los parámetros de salida económicos.

En la siguiente tabla se muestra, a modo de resumen, la validación realizada del modelo UTEM para cada una de las características del modelo tecno-económico teórico, en cada una de las etapas del procedimiento de validación, a lo largo de los apartados del presente Capítulo.

	Unive rsalid ad Multia cceso	Unive rsalid ad en Comb inació n de tecnol ogías de acces o	Unive rsalid ad en la orient ación a usuari o	Unive rsalid ad en incor poración de aproxi maciones “mic ro” y “mac ro”	Orient ación a Requi sitos de Usuar io del model o	Unive rsalid ad Geogr áfica	Unive rsalid ad Técni ca y Econ ómica	Exten sibilid ad y Flexib ilidad	Comp arabili dad técni ca y econó mica	Capac idad Predi ctiva	Capac idad de Integr ación con otros model os
Validación funcional del modelo UTEM (apartado 5.1)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Validación Cuantitativa escenarios Aplicación Aislada del modelo UTEM (apartado 5.2)	✓	✓	✓	✓	✓	□	✓	✓	✓	✓	✓
Validación Cuantitativa escenarios Aplicación Combinada del	□	□	□	✓	□	✓	□	□	□	□	□

modelo UTEM (apartado 5.3)											
Validación Cuantitativa capacidad de predicción del modelo UTEM (apartado 5.4)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Validación Cuantitativa de resultados del modelo UTEM con resultados de otros modelos (apartado 5.5)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				

Tabla 5.25: Resumen de validación del modelo UTEM

Por todo lo expuesto, se concluye que el modelo UTEM queda validado y contrastada la hipótesis inicial planteada en el capítulo introductorio, como respuesta a la pregunta de investigación. Por tanto, *SÍ es posible definir modelos técnico-económicos de aplicación universal, escalables, flexibles y generalizables que permitan comparar cualesquiera tecnologías de acceso a fin de ayudar a la toma de decisiones de los diferentes agentes del mercado.*

En consecuencia, el doble objetivo de esta investigación se ha alcanzado:

- Se ha definido un modelo técnico-económico de aplicación universal, escalable, flexible y generalizable que permite la comparación de múltiples tecnologías de acceso en diferentes escenarios.
- Se ha desarrollado una metodología de aplicación del modelo técnico-económico para facilitar su uso por parte de los diferentes agentes del mercado, proporcionando pautas para la aplicación del modelo y la adecuada interpretación de los resultados obtenidos.

Página dejada intencionadamente en blanco

Capítulo 6

CONCLUSIONES

6.1 Síntesis del trabajo de investigación

A lo largo de la presente tesis doctoral, se ha presentado el contexto en el que este trabajo de investigación se inscribe: un sector de telecomunicaciones muy dinámico y cambiante, integrado por diferentes agentes cuyas necesidades técnicas y económicas varían con gran agilidad, y en concreto el ámbito de las redes de acceso, que por ser la parte de las redes de telecomunicaciones que mayor capilaridad requiere con el fin de dar servicio a los usuarios finales, es la parte de la red que mayor volumen de inversión CapEx y costes de operación OpEx consume.

Como ya se ha indicado en el Capítulo Introducción, las tecnologías de acceso han evolucionado en las últimas décadas desde las líneas dedicadas punto a punto que permitían conectar los usuarios finales con los puntos de presencia de las redes de los operadores, hacia soluciones de acceso y conectividad robustas y más económicas que las tecnologías predecesoras, y siguen evolucionando en un entorno dinámico y cambiante.

Se ha señalado, además, que surge la creciente necesidad de interconexión de dispositivos de diferente naturaleza y en entornos muy diversos acuñada en el Internet of Things, el Internet Industrial, los vehículos conectados o el Internet of Everything, que junto con la mejora de resolución de vídeo en difusión o en streaming de Ultra Alta Definición 4K/8K, provoca que las necesidades técnicas de ancho de banda y disponibilidad entre otras evolucionen, al igual que las necesidades económicas.

Dada dicha evolución y dinamismo del sector de telecomunicaciones y de las tecnologías de acceso, se detecta la necesidad de definir modelos técnico-económicos de aplicación universal para facilitar la elección de la solución técnica de red de acceso más adecuada en cada escenario, que satisfaga las necesidades técnicas y económicas de los diferentes agentes del sector.

En este ámbito, se han estudiado los modelos técnico-económicos de la literatura, considerando relevantes los siguientes puntos:

- Tradicionalmente los modelos técnico-económicos se definen como un método que se utiliza para evaluar la viabilidad económica de sistemas técnicos complejos [SMU12], obviando una auténtica evaluación de la viabilidad técnica que contemple los requisitos y preferencias de los usuarios, lo cual conlleva el riesgo de cometer graves errores técnicos que pueden comprometer la viabilidad económica prevista.

- Los modelos técnico-económicos de la literatura se encuentran eminentemente orientados hacia las dinámicas de despliegue de redes de acceso impulsadas por parte de fabricantes y operadores, obviando la perspectiva de los usuarios finales.
- Desde los años 90 se han desarrollado diferentes proyectos con financiación pública en el marco de diferentes programas de I+D europeos con el objetivo de desarrollar y evolucionar las redes de acceso, los cuales han dado lugar a la mayor parte de la literatura existente respecto a modelos de evaluación técnico-económica de tecnologías de acceso.

Dadas las limitaciones identificadas en los modelos tecno-económicos de la literatura, el interés en encontrar soluciones óptimas para la red de acceso, y su experiencia profesional, el autor ha definido en el presente trabajo de investigación, once características de un modelo teórico de evaluación técnico-económica de tecnologías de acceso, universal, generalizable, escalable y flexible: *Universalidad multiacceso, Universalidad en Combinación de tecnologías de acceso, Universalidad en la orientación a usuario, Universalidad en incorporación de aproximaciones “micro” y “macro”, Orientación a Requisitos de Usuario del modelo, Universalidad geográfica, Universalidad Técnica y Económica, Extensibilidad y Flexibilidad, Comparabilidad Técnica y Económica, Característica Predictiva, Integrable con otros modelos.*

En base a las mencionadas características del modelo teórico definido, se ha elaborado y presentado una clasificación de los modelos técnico-económicos de la literatura, mostrando como resumen un ranking que da cuenta del grado de cumplimiento de cada modelo respecto a las características del modelo teórico, identificándose un amplio recorrido o ‘gap’ entre el modelo de mayor grado de cumplimiento de la literatura [PF09] y el modelo teórico definido.

Se ha propuesto y desarrollado un nuevo modelo de evaluación técnico-económica de tecnologías de acceso, universal, flexible, escalable y generalizable, denominado UTEM (Universal Techno-Economic Model: Modelo Técnico-Económico Universal). Se ha definido el modelo UTEM de manera modular compuesto por 3 bloques: 1) obtiene el vector de caracterización técnico-económica de cualquier tecnología de acceso en cualquier configuración, 2) calcula el número mínimo de accesos redundantes necesario para que una tecnología cumpla los requisitos de cliente establecidos por el usuario del modelo, 3) permite la comparación de tecnologías, y la elección de la más adecuada, según las preferencias establecidas por el usuario del modelo.

Así también, se ha definido una Metodología de aplicación del modelo UTEM que consta de dos vertientes: Aplicación Aislada, y Aplicación Combinada o Integrada del modelo UTEM con otros modelos, para los casos en que se requiere una aproximación “micro” (perspectiva de usuario final), y una aproximación “macro” (perspectiva de despliegue), respectivamente, con el fin de permitir el uso del modelo UTEM por cualesquiera agentes del sector.

La definición y desarrollo del modelo propuesto UTEM y su metodología de aplicación, han permitido maximizar el grado de cumplimiento del modelo UTEM

respecto a las características del modelo teórico definido, como se muestra en la correspondiente validación funcional realizada.

A través de la mencionada validación funcional y de la validación cuantitativa en escenarios de Aplicación Aislada y Aplicación Combinada del modelo, así como de la capacidad predictiva del mismo, se ha concluido que el modelo y la metodología responden a las expectativas y cumplen los objetivos de la presente tesis doctoral.

6.2 Aportaciones

La presente tesis doctoral realiza varias aportaciones originales que agrupamos en tres bloques.

Por una parte, se distinguen las siguientes aportaciones de redefinición conceptual y definición de características:

- La redefinición del concepto de modelo técnico-económico más allá del alcance tradicional, puesto que incluye y subraya la necesidad ineludible de realizar la evaluación de la viabilidad técnica. Desde esta perspectiva, la presente tesis doctoral redefine dicho concepto como sigue:

“Los modelos técnico-económicos son un método que permite la evaluación de la viabilidad técnica y económica de sistemas técnicos complejos.”

Esta nueva definición enfatiza tanto el aspecto técnico como el económico de la modelización, considerando la viabilidad técnica como la satisfacción de requisitos y necesidades técnicas determinadas.

- La definición de las características de un modelo técnico-económico teórico universal, flexible, generalizable y escalable para tecnologías de acceso.

Por otro lado, el Estado del Arte aporta:

- La clasificación de los modelos técnico-económicos de la literatura en base a las características definidas para el modelo técnico-económico teórico.

Finalmente, fruto del modelo y metodología propuestos, se realizan las siguientes aportaciones:

- La definición y desarrollo de un modelo y metodología de evaluación técnico-económica de tecnologías de acceso, universal, generalizable, escalable y flexible, en mayor grado que los modelos de la literatura, cuya capacidad de evaluación global técnica y económica permite:
 - la caracterización técnica de tecnologías de acceso en cualquier configuración serie o paralelo
 - obtener una figura de mérito de prestaciones técnicas y/o económicas para cada tecnología
 - obtener una figura de mérito de eficiencia técnica y/o económica para cada tecnología.

- la posibilidad de introducción de los requisitos técnicos y económicos de cliente o usuario final.
 - la posibilidad de introducción de los criterios de decisión o preferencias del usuario del modelo mediante la fijación de los coeficientes de ponderación de los parámetros técnico-económicos incluidos en la formulación de las figuras de mérito.
 - identificar el grado de cumplimiento de los requisitos de cliente técnicos y/o económicos establecidos por el usuario del modelo para cada tecnología
 - calcular el número mínimo de accesos redundantes que permite que una tecnología de acceso dada cumpla los requisitos de cliente técnicos y/o económicos establecidos.
 - la evaluación técnico-económica de accesos redundantes y combinaciones en paralelo de idéntica o diferente tecnología de acceso.
 - la extensión del concepto de análisis técnico-económico tradicional más allá de la evaluación de la viabilidad económica de sistemas técnicos complejos, añadiendo y haciendo énfasis en la evaluación de la viabilidad técnica, y validando por tanto la redefinición planteada.
 - la predicción del momento de decisión de despliegue masivo de una tecnología de acceso.
 - la comparación entre cualesquiera tecnologías de acceso.
- La definición y metodología de aplicación de las figuras de mérito de prestaciones tecno-económicas F1 y eficiencia tecno-económica F2 para la comparación de tecnologías de acceso, concebidas como función de la combinación lineal de las coordenadas del vector diferencia entre el vector de caracterización de la tecnología de acceso en estudio y el vector de requisitos mínimos de usuario.
 - La generalización de otros modelos, a través de la metodología de Aplicación Combinada del modelo UTEM, a los cuales aporta la caracterización técnica de la tecnología de acceso en estudio, el número mínimo de accesos redundantes para el cumplimiento de los requisitos de cliente, así como las figuras de mérito de prestaciones y eficiencia técnico-económicas.
 - La versatilidad en cuanto a la evaluación técnico-económica de tecnologías de acceso actuales y futuras.

6.3 Líneas de investigación futuras

La presente tesis doctoral deja abiertas, por hallarse fuera de su alcance, varias líneas para investigación futura, entre las cuales se distinguen aquéllas que buscan extender la aplicación del modelo y metodología propuestos, como pueden ser:

- Extensión del modelo para evaluación técnico-económica de alternativas en las redes troncales, que permiten cursar el tráfico agregado de las redes de acceso.
- Extensión del modelo para evaluación técnico-económica en otro tipo de redes de suministro (gas, agua, electricidad, etc.).

Y aquellas líneas colaterales, que derivan de aportaciones de la presente tesis doctoral, como el concepto de redundancia y las combinaciones en paralelo de accesos:

- Sistemas de balanceo de carga entre accesos redundantes de idéntica tecnología de acceso.
- Sistemas de balanceo de carga entre combinaciones en paralelo de diferentes tecnologías de acceso.
- Diseño de funciones de red virtualizadas para la definición de sistemas de balanceo de carga.

Página dejada intencionadamente en blanco

Glosario

A

AAPP: Ver Administración Pública.

Administración Pública: Conjunto de organismos de la Administración del Estado, sean del nivel central, autonómico o local.

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line, Línea de Abonado Digital Asimétrica): Tecnología de Transmisión que permite a los hilos de cobre convencionales, usados inicialmente para telefonía, transportar hasta 2 Mbit/s sobre un par de abonado de longitud media. Al igual que el resto de las soluciones xDSL no tiene la necesidad de reemplazar los cables existentes, y convierte el par de cobre que va desde la central telefónica hasta el usuario en un medio para la transmisión de aplicaciones multimedia.

Ancho de banda: Técnicamente es la diferencia en hertzios (Hz) entre la frecuencia más alta y la más baja de un canal de transmisión. Sin embargo, este término se usa muy a menudo para referirse a la velocidad de transmisión.

ASN: Active Star Network: Red Estrella Activa. Una de las posibles arquitecturas de red FTTH.

B

Backbone: Red Troncal. Red de larga distancia y gran capacidad a la que se conectan redes subsidiarias de menor tamaño.

Banda ancha: Se denomina así a los canales de comunicación cuya velocidad de transmisión es muy superior a la de un canal de banda vocal. Las definiciones de Banda Ancha han ido variando a medida que las tecnologías de acceso han proporcionado mayores velocidades de transmisión. En la Agenda Digital i2010 en la UE se consideraba banda ancha las velocidades de recepción superiores a 2 Mbits/s en la red de acceso.

BB.DD.: Bases de datos.

Bit (Binary unit): Unidad mínima de información digital, que es el discernimiento entre dos posiciones: afirmativo o negativo, 1 ó 0, sí o no.

Bit/s (Bits por segundo): Unidad de medida de la capacidad de transmisión de una línea de telecomunicación.

Bucle de cliente: (Bucle de abonado) Par de cobre que conecta el domicilio del cliente con el repartidor principal de la central pública del operador de telecomunicaciones. Ver repartidor principal.

C

Cable Módem: Sistema de modulación y demodulación de señales que se difunden por cable.

CATV: TV por cable. Antiguamente llamado Televisión por Antena Comunitaria (CATV). Sistema de comunicación para la transmisión de canales de TV, programación original y servicios a través de cable coaxial.

Calidad de bucle. Referido a xDSL. Resultado de la comparación entre la caracterización teórica ó práctica del bucle de cliente con parámetros de atenuación en la banda de frecuencias utilizadas por la tecnología xDSL de que se trate y la máscara de atenuación utilizada para validar la idoneidad del bucle para dicha tecnología xDSL. En las medidas reales se considera el Factor de Ruido del par de cobre para comprobar si la relación S/N es adecuada. Los resultados de validación teórica se expresan habitualmente en los siguientes términos: “POTENCIALMENTE VÁLIDO”, “DUDOSO”, “NO VÁLIDO”. Los resultados de validación práctica se expresan habitualmente en los siguientes términos: “VÁLIDO”, “NO VÁLIDO”..

Carrier: Infraestructura física por la cual se transportan los datos, voz e imagen. También se refiere a la empresa que ofrece el servicio de transmisión o conducción de señales.

CATV: TV por cable.

CC.AA.: Comunidades Autónomas.

Coaxial: Elemento conductor de señales, aislado y dotado de elementos que minimizan las interferencias electromagnéticas. Dos conductores de cobre contruidos uno alrededor del otro, separados por un material aislante y rodeados por una cubierta también aislante. Se caracteriza por su importante capacidad de ancho de banda y baja susceptibilidad a las interferencias.

Cobertura: Ámbito geográfico, espacio, superficie en la que pueden recibirse las señales cuyo medio físico es el espectro radioeléctrico.// Alcance de una emisión radioeléctrica.// Referido a xDSL: Área de influencia de una central pública de un operador de telecomunicaciones dotada de equipos de tecnología xDSL. A pesar de que para un determinado cliente existe cobertura puede darse la situación en que la calidad de bucle de cliente – par de cobre - no sea la adecuada para la tecnología xDSL empleada.

D

Data Center (Centro de datos): Infraestructura diseñada, implementada y especialmente acondicionada con el fin de proveer la operación el acceso a sistemas informáticos ininterrumpidos, cien por cien seguros, que permite alojar servidores y/o contenidos con las últimas tecnologías así como mejores prestaciones de conectividad, mantenimiento, etc.

DSL (Digital Subscriber Line) (xDSL): Engloba el conjunto de tecnologías digitales de alta velocidad para acceder al bucle de abonado a través del par de hilos de cobre.

DTV (Digital Television): Ver Televisión digital.

E

EDGE (Enhanced Data para la Evolución GSM): Es una tecnología que da la capacidad de manejar servicios para la tercera generación de telefonía móvil. EDGE fue desarrollada para permitir la transmisión de grandes cantidades de datos a mayores velocidades (384 kbps).

Ethernet: Estándar de comunicación que usa cable coaxial o par de cobre trenzado no apantallado. Se trata del estándar más usado en las Redes de Área Local.

F

Fibra óptica: Línea de comunicación que permite la transmisión de información por técnicas optoelectricas. Se caracteriza por un elevado ancho de banda (alta capacidad o velocidad de transmisión) y por la escasa pérdida de señal.

Frecuencia: Número de ciclos que por segundo efectúa una onda del espectro radioeléctrico.

FTTx (Fiber To The X): Definición generalista que se refiere a tecnologías de banda ancha basadas en fibra óptica.

G

GPRS (General Packet Radio Service): (Servicio General Paquetes por Radio). Servicio de comunicación de telefonía móvil basado en transmisión de paquetes. Puede transmitir a una velocidad de 114 kbit/s y permite la conexión a Internet. Es una tecnología de transición entre los sistemas GSM y UMTS, denominándose en algunas ocasiones como 2.5 G.

GSM (Global System for Mobile communication): (Sistema Global para comunicaciones Móviles). Sistema de telefonía celular digital para comunicaciones móviles desarrollado en Europa con la colaboración de operadores, Administraciones Públicas y empresas. Estándar europeo que opera en las bandas de 900 y 1.800 MHz. Constituye la segunda generación de telefonía móvil. En Europa se identifica con la 2G.

H

HDTV (High Definition Television): (Televisión de alta definición). Tecnología que define una norma para la emisión y recepción de señal de televisión con mayor definición (en torno al doble) que la actual. La mayor definición ofrece una mejor calidad y nitidez de las imágenes.

Hertz: Denominación de la unidad de frecuencia definida por la relación ciclo/segundo.

HFC: Hybrid Fiber Coax. Tecnología de acceso Híbrida Fibra Coaxial utilizada en las denominadas redes de cable.

Hot Spot: También llamados puntos de acceso inalámbricos, definen zonas de cobertura en las que se puede acceder a Internet mediante algún tipo de tecnología inalámbrica como, por ejemplo, Wi-Fi o Bluetooth, si se dispone de los equipos WLAN (dispositivos y tarjetas) adecuados.

Housing: Servicio de alquiler de espacio físico para el alojamiento de los servidores de una organización, empresa o particular en las instalaciones del proveedor. El proveedor garantizará la seguridad física y lógica, la conectividad con Internet y la inclusión de los servicios en su sistema de monitorización. El cliente, por su parte, se encargará de manera remota de las tareas de configuración y mantenimiento del hardware y software alojado.

HRN: Home Run Network. Una posible arquitectura de red FTTH.

HTML (Hyper Text Mark-up Language): Lenguaje de programación en que se escriben las páginas del servicio WWW, que permite el uso de hipertexto.

I

ICT (Infraestructura Común de Telecomunicaciones.): La normativa ICT regula las instalaciones e infraestructuras necesarias en las viviendas que

permiten el acceso a los servicios y aplicaciones que caracterizan a la Sociedad de la Información.

I+D: Investigación y Desarrollo.

I+D+i: Investigación, Desarrollo e Innovación.

Internet: Red digital de conmutación de paquetes, basada en los protocolos TCP/IP. Interconecta entre sí redes de menor tamaño (de ahí su nombre), permitiendo la transmisión de datos entre cualquier par de ordenadores conectados a estas redes subsidiarias.

Interoperabilidad: Conjunto de las características de un sistema que permiten una operación sobre una variedad de medios y entre equipos de diferentes fabricantes.

IPSEC: Juego de protocolos estándar desarrollado por IETF (Internet Engineering Task Force) para dar servicios de comunicaciones seguras a través de Internet. Define dos protocolos de seguridad de paquetes IP así como el procedimiento de intercambio de claves Internet.

ISP (Internet Service Provider): (Proveedor de Servicios de Internet). Organización, habitualmente con ánimo de lucro, que además de dar acceso a Internet a personas físicas y/o jurídicas, les ofrece una serie de datos entre cualquier par de ordenadores conectados a estas redes subsidiarias.

IST (Information Society Technologies): Programa de la Unión Europea dentro de los programas Marco de I+D.

IT (Information Technology): Tecnologías de la Información.

ITU/UIT (International Telecommunications Union): Unión Internacional de Telecomunicaciones.

.

L

LAN (Local Area Network): Según el IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), sistema de comunicación de datos que permite a un cierto número de dispositivos comunicarse directamente entre sí dentro de un área geográfica reducida, empleando canales físicos de comunicación de velocidad moderada o alta.

LMDS (Local Multipoint Distribution System): LMDS es una tecnología de radio que ha sido desarrollada para el acceso local inalámbrico de banda ancha. Permite acceder a servicios de voz, datos, Internet y vídeo. Usa la banda de radio de 25 GHz (o superiores).

M

Mbits (Megabits): Medida de cantidad de información transmitida en un medio de comunicación equivalente a 1.048.576 bits.

MDF: Acrónimo en inglés: Main Distribution Frame: literalmente Panel de Distribución Principal ó Repartidor Principal. Ver repartidor principal.

MHz (Megahertz): Medida de frecuencia correspondiente a 1.000 Hz

MMDS (Multichannel Multipoint Distribution System): Distribución de Televisión por Microondas. Sistema que permite, en entornos geográficos reducidos, transmitir varios canales de TV y soportar interactividad, lo que posibilita el ofrecimiento de servicios audiovisuales interactivos. El canal de retorno se realiza a través de línea telefónica analógica (Servicio Telefónico

Básico STB) ó RDSI (Red Digital de Servicios Integrados). Se puede integrar con telefonía vía radio en la misma infraestructura MMDS.

Módem: Acrónimo de modulador/demodulador. Designa al dispositivo que convierte las señales digitales en analógicas, y viceversa, y que permite la comunicación entre dos ordenadores a través de una línea telefónica normal o una línea de cable (módem para cable o cable módem).

Multimedia: Información digitalizada que combina varios tipos de información, como texto, gráficos, imagen fija o en movimiento, sonido, etc.

O

Operador de telecomunicaciones: Empresa o entidad que ofrece servicios de telecomunicaciones.

OTT: Over The Top. Proveedores de servicios de contenidos que aprovechan las infraestructuras de comunicaciones que los operadores de telecomunicaciones proporcionan.

P

Par de cobre: Línea de comunicación que consiste en dos hilos conductores de cobre.

PLC (Power Line Communications): Acceso a Internet a través de la red eléctrica. Véase Capítulo 2 del Estado del Arte para más detalle.

PON: Passive Optical Network: Red Óptica Pasiva. Tecnología de red FTTH.

PYME: Pequeña y mediana empresa.

R

RACE (Research and technical development in Advanced Communications technologies in Europe): Programa europeo sobre investigación y desarrollo técnico de tecnologías de Comunicaciones Avanzadas.

Radioenlace: Equipo de radio que permite el establecimiento de un conjunto de comunicaciones entre dos puntos fijos.

RDSI (Red Digital de Servicios Integrados): Combina servicios de voz y digitales a través de la red en un solo medio, haciendo posible ofrecer a los clientes servicios digitales de datos así como conexiones de voz a través de un solo "cable" (par de cobre), por medio de dos canales de 64 Kbits/s.

Red de acceso: Parte de las redes de telecomunicaciones que conectan cada lugar particular (hogar, oficina, etc.) con la central del operador de telecomunicaciones a la que pertenece, dando acceso a los sistemas de conmutación y de transmisión a larga distancia.

Red de comunicaciones: Es el conjunto de enlaces e interconexiones (realizadas mediante pares de cobre, cables coaxiales, fibras ópticas, ondas de radio, infrarrojos o cualquier otro medio) entre diversos dispositivos electrónicos (entre los cuales se encuentran los ordenadores) que posibilita la transmisión, entre ellos, de señales tanto analógicas como digitales.

Red de larga distancia: Ver Red de transporte.

Red de transporte: Parte de las redes de telecomunicaciones que conectan unas ciudades con otras (o regiones, o países, incluso continentes),

denominada también a veces red de larga distancia. Los usuarios se conectan a ella a través de la red de acceso.

Red digital: Red de comunicaciones por la que circula la información en formato digital (ver Señal digital).

Red fija: Red de comunicaciones a la que se accede desde ubicaciones fijas cuya situación no varía con el tiempo.

Repartidor principal: Panel de conexiones principal de una central pública de un operador de telecomunicaciones en el que terminan los pares de cobre procedentes de los domicilios de clientes y de las cajas terminales situadas en la red urbana, así como los interfaces de los equipos de central. Sobre él se tienden los puentes de interconexión entre el par de cobre de cliente y el correspondiente interfaz de equipo de central para proporcionar cualquier servicio. Se denomina MDF en inglés. Ver MDF.

RPV (Red Privada Virtual): Es una red privada que se extiende mediante un proceso de encapsulación y encriptación de los datos a distintos puntos remotos mediante el uso de infraestructuras públicas de transporte, permitiendo disfrutar de las características de una red privada (confidencialidad, seguridad, acceso a información corporativa) a través de un acceso público.

RTB (Red Telefónica Básica): Red de cobertura nacional desarrollada especialmente para la provisión del servicio telefónico, es decir, para la transmisión de voz.

RTC (Red Telefónica Conmutada): Concepto similar a RTB, pero que pone el énfasis en la tecnología de conmutación de circuitos en las que se basa, como contrapuesta a los enlaces de datos punto a punto. El concepto RTC engloba tanto a la Red Telefónica Básica (RTB) como a la Red Digital de Servicios Integrados (RDSI).

S

Señal digital: Una señal es digital cuando está discretizada, es decir, los márgenes de variación de la señal tienen límites tanto superior como inferior y, además, la señal no puede tomar cualquier valor entre dichos límites, sino sólo algunos concretos. El ejemplo más típico es el de una señal convertida a ceros y unos.

Servicios interactivos (Interactive Broadcasting): Suponen la provisión de

Sociedad de la Información: Estadio de desarrollo social caracterizado por la capacidad de sus miembros (ciudadanos, empresas y Administración) de compartir cualquier información, instantáneamente, desde cualquier lugar y en la forma que se prefiera.

Software: (Componentes lógicos, programas). Programas o elementos lógicos que hacen funcionar un ordenador o una red, o que se ejecutan en ellos, en contraposición con los componentes físicos del ordenador o la red. Ver también Hardware.

T

Telefonía 3G: Telefonía móvil de tercera generación que se identifica con los estándares IMT2000 emitidos por la ITU, entre los que está UMTS.

TI: Tecnologías de la Información.

TIC: Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones.

U

UIT/ITU: Unión Internacional de Telecomunicaciones/International Telecommunications Union.

UMTS (Universal Mobile Telecommunication System): Estándar de telefonía móvil celular de banda ancha y alta velocidad desarrollada por el ETSI (European Telecommunications Standard Institute) se trata de un sistema de tercera generación destinado a sustituir a GSM.

UNED: Universidad Nacional de Educación a Distancia.

URL (Uniform Resource Locator): (Localizador Uniforme de Recursos). Sistema unificado de identificación de recursos en la red. Las direcciones se componen de protocolo, FQDN y dirección WWW, Gopher, FTP, News, etc.

V

VDSL (Very high rate Digital Subscriber Line): Tecnología de transmisión, evolución del ADSL, que utiliza fibra óptica y, en el tramo final de la conexión con el abonado, hilos de cobre convencionales, permitiendo transportar hasta 52 Mbit/s.

Velocidad de transmisión: Cantidad de datos que puede ser enviada en un período de tiempo determinado a través de un circuito de comunicación dado. Se mide en bit/s o, más habitualmente, en sus múltiplos. El término “ancho de banda” se utiliza a veces como equivalente, aunque es más correcto usar “velocidad de transmisión”.

W

WAN (Wide Area Network): Redes de área extensa. Estas redes intercomunican equipos en un área geográfica muy grande. Sus extensiones pueden ser nacionales, supranacionales e internacionales. Internet es un claro ejemplo de WAN.

Website: (Sitio Web). Colección de páginas Web a las que se accede a través de una dirección URL única.

WiFi (Wireless Fidelity): Siglas bajo las que se esconde el estándar IEEE 802.11b, y estándares posteriores, para redes locales inalámbricas (WLAN) que funciona en la banda de 2,4 GHz (de uso libre sin licencia) y permite una velocidad máxima teórica de transmisión de 11 Mbit/s. Generalmente se prestan servicios de acceso a Internet con esta tecnología a través de los llamados *hot spots* o puntos de acceso inalámbrico.

Wireless: Sin cables, inalámbrico. En general hace referencia a las tecnologías de acceso que no utilizan cables como medio de transmisión sino ondas hertzianas en frecuencia de microondas, infrarrojos, etc., que se propagan directamente por el aire.

WLAN (Wireless Local Area Network): Son Redes de Área Local (ver definición) a las que un usuario puede tener acceso a través de una conexión inalámbrica como, por ejemplo, Bluetooth o Wi-Fi.

WWW (World Wide Web, literalmente “malla que cubre el mundo”): Servidor de información distribuido, basado en hipertexto, creado a principios de los años noventa por Tim Berners Lee, investigador en el CERN, Suiza. La información puede ser de cualquier formato (texto, gráfico,

audio, imagen fija o en movimiento) y es fácilmente accesible a los usuarios mediante los programas navegadores.

X

xDSL (Digital Subscriber Line): (Línea de Abono Digital). Nombre genérico de la familia de tecnologías que ofrecen amplio ancho de banda a través del par de cobre convencional desplegado inicialmente para el servicio telefónico.

Página dejada intencionadamente en blanco

Página dejada intencionadamente en blanco

ANEXOS

Página dejada intencionadamente en blanco

A Escenarios adicionales de Aplicación Aislada contemplados en la Validación Cuantitativa del modelo UTEM

A.1 Escenario 3: Punto de acceso WiMAX 802.16 con backhaul WiMAX 802.16

En las siguientes tablas, se muestran los parámetros de entrada del modelo que se utilizan como ejemplo en este escenario, así como los parámetros de salida obtenidos aplicando el modelo UTEM para este escenario. Cualquier variación en los parámetros de entrada, en los requisitos de cliente o en las preferencias de usuario, dará lugar a unos resultados diferentes.

PARÁMETROS DE ENTRADA x_{ij} del MODELO UTEM

NOMBRE ESCENARIO: WiMAX 802.16 con backhaul
WiMAX 802.16

	Parámetro Entrada	Interfaz PC	Elemento 1	Elemento 2	Elemento 3
Identificación del elemento	Nombre del elemento	RedMAX Subscriber Unit SU-O	Redline Communicati ons AN-100 Broadband Wireless System WiMAX 802.16a / 802.16-2004	Redline Communicati ons AN-100 Backhaul WiMAX 802.16a / 802.16-2004	Redline Communicati ons AN-100 Backhaul WiMAX 802.16a / 802.16-2004
	Función del elemento	Adaptador Usuario	Punto de acceso	Extremo 1 Enlace 1	Extremo 2 Enlace 1
Ancho de Banda	Ancho de Banda Unitario (Mbits/s) (Recepción)	23	54	43	43
	Ancho de Banda Unitario (Mbits/s) (Emisión)	23	54	43	43
Disponibilidad	Disponibilidad	99,9990%	99,9990%	99,9990%	99,9990%
Distancia	Distancia (metros)	N/A	3000	45000	N/A
QoS	Capacidad para QoS	N/A	VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO
Redundancia	Redundancia (Nº elementos en paralelo)	1	1	1	1
LOS	LOS (Line of Sight Necesaria ?)	N/A	FALSO	VERDADERO	VERDADERO
Banda de frecuencias	Banda (GHz)	3,5	3,5	3,5	3,5
Licencia	Necesita Licencia ?	VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO
Usuarios	Nº usuarios:	1	30	N/A	N/A
Concurrencia	Concurrencia media estimada de usuarios	N/A	65,00%	N/A	N/A
Tecnología	¿Utiliza tecnología inalámbrica en algún tramo?	SI	SI	SI	SI

Entorno	VectorEntorno (URBANO DENSO / URBANO / SUBURBANO / RURAL)	(0,0,1,1)	(0,0,1,1)	(0,0,1,1)	(0,0,1,1)
Atenuación por meteorología	Disminución total de Ancho de Banda en Recepción por efectos meteorológicos (Mbits/s)	0,1	0,3	0,4	0,5
	Disminución total de Ancho de Banda en Emisión por efectos meteorológicos (Mbits/s)	0,1	0,1	0	0
Ubicuidad	Ubicuidad en domicilio de cliente	SI	N/A	N/A	N/A
Salud	Probabilidad de suscitar retenciones por riesgo para la salud (0=NINGUNA; 1=BAJA; 2=MEDIA; 3=ALTA)	1	1	1	1
K (tipo de interés)	Tipo de interés	1,00%	N/A	N/A	N/A
ARPU año 1	Ingresos medios por usuario (Año 1)	748,88 €			
ARPU año 2	Ingresos medios por usuario (Año 1)	540,00 €			
ARPU año 3	Ingresos medios por usuario (Año 1)	540,00 €			
CAPEX año 1	Inversiones (Año 1)	20,00 €	116,67 €	116,67 €	116,67 €
CAPEX año 2	Inversiones (Año 2)				
CAPEX año 3	Inversiones (Año 3)				
OPEX año 1	Gastos de Operación (Año 1)	0,0002 €	0,0012 €	0,0012 €	0,0012 €
OPEX año 2	Gastos de Operación (Año 2)	0,0002 €	0,0012 €	0,0012 €	0,0012 €
OPEX año 3	Gastos de Operación (Año 3)	0,0002 €	0,0012 €	0,0012 €	0,0012 €

Tabla A.1: Parámetros de entrada en escenario WiMAX 802.16 con backhaul WiMAX 802.16.

PARÁMETROS DE SALIDA y_k y Figuras de mérito F1 y F2

	Parámetros Salida	y_k	$a_k \cdot \bar{y}_k$	$b_P \cdot y_k$	Valoración Ponderada	
					F1	F2
VELOCIDAD DE RECEPCIÓN	Ancho de Banda MEDIO (Mbits/s por usuario)	2,753846154	-0,3892	0,0000	16,46%	22,24%/K€
VELOCIDAD DE EMISIÓN	Ancho de Banda MEDIO (Mbits/s por usuario)	2,764102564	-0,0337	0,0000		
DISPONIBILIDAD	Disponibilidad	99,9960%	0,0606	0,0000		
DISTANCIA	Distancia usuario a punto de acceso (metros)	3000	0,0994	0,0000		
	Distancia total usuario a nodo de acceso (m)	48.000	1,6004	0,0000		
ARPU año 1	Ingresos medios por usuario (Año 1)	748,88 €	0,0000	0,0000		
ARPU año 2	Ingresos medios por usuario (Año 1)	540,00 €	0,0000	0,0000		
ARPU año 3	Ingresos medios por usuario (Año 1)	540,00 €	0,0000	0,0000		
CAPEX año 1	Inversiones (Año 1)	370,00 €	0,0000	0,0000		
CAPEX año 2	Inversiones (Año 2)	0,00 €	0,0000	0,0000		
CAPEX año 3	Inversiones (Año 3)	0,00 €	0,0000	0,0000		
OPEX año 1	Gastos de Operación (Año 1)	0,00 €	0,0000	0,0000		
OPEX año 2	Gastos de Operación (Año 2)	0,00 €	0,0000	0,0000		
OPEX año 3	Gastos de Operación (Año 3)	0,00 €	0,0000	0,0000		
NPV	Valor actual neto (Net Present Value) a tipo de interés K	1.428,60 €	0,0000	0,0000		
Flujo de Caja Neto	Net Cash Flow (no se tiene en cuenta el tipo de interés K)	1.458,87 €	0,0000	0,0000		
Payback Period (años)	Período de Amortización	1,00	0,0000	0,0000		
COSTE	CapEx + OpEx (año 1)	370,00 €	0,0000	370,0037		
QoS	Capacidad para QoS	VERDADERO	1,0000	0,0000		
LOS	LOS desde usuario a punto de acceso (Line of Sight Necesaria ?)	FALSO	0,0000	0,0000		
	LOS desde punto de acceso a nodo de acceso necesaria?	VERDADERO	-1,0000	0,0000		
LICENCIA	Necesita Licencia ?	VERDADERO	-1,0000	0,0000		
Ubicuidad	Ubicuidad en domicilio de cliente	SI	1,0000	0,0000		
Salud	Probabilidad de suscitar retenciones por riesgo para la salud (0=NINGUNA; 1=BAJA; 2=MEDIA; 3=ALTA)	1	-0,3333	0,0000		

Tabla A.2: Parámetros de salida y_k y figuras de mérito F1 y F2 en escenario WiMAX 802.16 con backhaul WiMAX 802.16.

OBTENCIÓN DEL MÍNIMO NÚMERO DE ACCESOS REDUNDANTES R PARA CUMPLIR REQUISITOS DE CLIENTE

	Parámetros Salida	y_k	Valor mínimo de r_k para cumplir requisitos de cliente	
VELOCIDAD DE RECEPCIÓN	Ancho de Banda MEDIO por usuario en acceso (Mbits/s por usuario)	2,753846154	11	
VELOCIDAD DE EMISIÓN	Ancho de Banda MEDIO por usuario en acceso (Mbits/s por usuario)	2,764102564	2	
DISPONIBILIDAD	Disponibilidad	99,9960%	2	
DISTANCIA	Distancia usuario a punto de acceso (metros)	3000	CUMPLE	CONCLUSIÓN
	Distancia total usuario a nodo de acceso (m)	48.000	CUMPLE	
COSTE	CapEx + OpEx (Año 1)	370,00 €	CUMPLE	SÍ CUMPLE CON:
QoS	Capacidad para QoS	VERDADERO	CUMPLE	R = 11
LOS	LOS desde usuario a punto de acceso (Line of Sight Necesaria ?)	FALSO	CUMPLE	
	LOS desde punto de acceso a nodo de acceso necesaria?	VERDADERO	CUMPLE	
LICENCIA	Necesita Licencia ?	VERDADERO	CUMPLE	
Ubicuidad	Ubicuidad en domicilio de cliente	SI	CUMPLE	
Salud	Probabilidad de suscitar retenciones por riesgo para la salud (0=NINGUNA; 1=BAJA; 2=MEDIA; 3=ALTA)	1	CUMPLE	

Tabla A.3: Mínimo número de accesos redundantes R para que la tecnología WiMAX 802.16 con backhaul WiMAX 802.16 cumpla los requisitos de usuario establecidos.

A.2 Escenario 4: 4G-LTE

En las siguientes tablas, se muestran los parámetros de entrada del modelo que se utilizan como ejemplo en este escenario, así como los parámetros de salida obtenidos aplicando el modelo UTEM para este escenario. Cualquier variación en los parámetros de entrada, en los requisitos de cliente o en las preferencias de usuario, dará lugar a unos resultados diferentes.

PARÁMETROS DE ENTRADA x_{ij} del MODELO UTEM

NOMBRE ESCENARIO: 4G-LTE

	Parámetro Entrada	Interfaz PC	Elemento 1	Elemento 2	Elemento 3
Identificación del elemento	Nombre del elemento	Adaptador 4G	Estación Base 4G	MUX 4G	Red de agregación
	Función del elemento	Adaptador 4G	Estación Base 4G	Nodo de Acceso (interfaz de acceso)	Nodo de Acceso (interfaz de agregación)
Ancho de Banda	Ancho de Banda Unitario (Mbits/s) (Recepción)	24	100	100	100
	Ancho de Banda Unitario (Mbits/s) (Emisión)	8	10	10	10
Disponibilidad	Disponibilidad	99,9962%	100,0000%	99,9990%	100,0000%
Distancia	Distancia (metros)	N/A	N/A	15000	N/A
QoS	Capacidad para QoS	N/A	VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO
Redundancia	Redundancia (Nº elementos en paralelo)	1	1	1	1
LOS	LOS (Line of Sight Necesaria ?)	N/A	N/A	N/A	N/A
Banda de frecuencias	Banda (GHz)	0,8	0,8	N/A	N/A
Licencia	Necesita Licencia ?	FALSO	VERDADERO	FALSO	FALSO
Usuarios	Nº usuarios:	1	1	N/A	N/A
Concurrencia	Concurrencia media estimada de usuarios	N/A	100,00%	N/A	N/A
Tecnología	¿Utiliza tecnología inalámbrica en algún tramo?	SI	SI	NO	NO

Entorno	VectorEntorno (URBANO DENS0 / URBANO / SUBURBANO / RURAL)	(1,1,1,1)	(1,1,1,1)	(1,1,1,1)	(1,1,1,1)
Atenuación por meteorología	Disminución total de Ancho de Banda en Recepción por efectos meteorológicos (Mbits/s)	0,1	0,3	0,4	0,5
	Disminución total de Ancho de Banda en Emisión por efectos meteorológicos (Mbits/s)	0,1	0,1	0	0
Ubicuidad	Ubicuidad en domicilio de cliente	SI	N/A	N/A	N/A
Salud	Probabilidad de suscitar retenciones por riesgo para la salud (0=NINGUNA; 1=BAJA; 2=MEDIA; 3=ALTA)	1	1	0	0
K (tipo de interés)	Tipo de interés	1,00%	N/A	N/A	N/A
ARPU año 1	Ingresos medios por usuario (Año 1)	330,00 €			
ARPU año 2	Ingresos medios por usuario (Año 1)	300,00 €			
ARPU año 3	Ingresos medios por usuario (Año 1)	300,00 €			
CAPEX año 1	Inversiones (Año 1)	15,00 €	100,00 €	100,00 €	100,00 €
CAPEX año 2	Inversiones (Año 2)				
CAPEX año 3	Inversiones (Año 3)				
OPEX año 1	Gastos de Operación (Año 1)	0,0006 €	0,0000 €	0,0010 €	0,0000 €
OPEX año 2	Gastos de Operación (Año 2)	0,0006 €	0,0000 €	0,0010 €	0,0000 €
OPEX año 3	Gastos de Operación (Año 3)	0,0006 €	0,0000 €	0,0010 €	0,0000 €

Tabla A.4: Parámetros de entrada en escenario 4G-LTE.

PARÁMETROS DE SALIDA y_k y Figuras de mérito F1 y F2

	Parámetros Salida	y_k	$a_k \cdot \bar{y}_k$	$b_P \cdot y_k$	Valoración Ponderada	
					F1	F2
VELOCIDAD DE RECEPCIÓN	Ancho de Banda MEDIO (Mbits/s por usuario)	23,9	-0,08714	0,00000	38,22 %	121,34 %/K€
VELOCIDAD DE EMISIÓN	Ancho de Banda MEDIO (Mbits/s por usuario)	7,9	0,70000	0,00000		
DISPONIBILIDAD	Disponibilidad	99,9952%	0,05265	0,00000		
DISTANCIA	Distancia usuario a punto de acceso (metros)	15000	0,49967	0,00000		
	Distancia total usuario a nodo de acceso (m)	15.000	0,49967	0,00000		
ARPU año 1	Ingresos medios por usuario (Año 1)	330,00 €	0,00000	0,00000		
ARPU año 2	Ingresos medios por usuario (Año 1)	300,00 €	0,00000	0,00000		
ARPU año 3	Ingresos medios por usuario (Año 1)	300,00 €	0,00000	0,00000		
CAPEX año 1	Inversiones (Año 1)	315,00 €	0,00000	0,00000		
CAPEX año 2	Inversiones (Año 2)	0,00 €	0,00000	0,00000		
CAPEX año 3	Inversiones (Año 3)	0,00 €	0,00000	0,00000		
OPEX año 1	Gastos de Operación (Año 1)	0,00 €	0,00000	0,00000		
OPEX año 2	Gastos de Operación (Año 2)	0,00 €	0,00000	0,00000		
OPEX año 3	Gastos de Operación (Año 3)	0,00 €	0,00000	0,00000		
NPV	Valor actual neto (Net Present Value) a tipo de interés K	600,11 €	0,00000	0,00000		
Flujo de Caja Neto	Net Cash Flow (no se tiene en cuenta el tipo de interés K)	615,00 €	0,00000	0,00000		
Payback Period (años)	Período de Amortización	1,00	0,00000	0,00000		
COSTE	CapEx + OpEx (año 1)	315,00 €	0,00000	315,0016 €		
QoS	Capacidad para QoS	VERDADERO	1,00000	0,00000		
LOS	LOS desde usuario a punto de acceso (Line of Sight Necesaria ?)	N/A	0,00000	0,00000		
	LOS desde punto de acceso a nodo de acceso necesaria?	N/A	0,00000	0,00000		
LICENCIA	Necesita Licencia ?	VERDADERO	-1,00000	0,00000		
Ubicuidad	Ubicuidad en domicilio de cliente	SI	1,00000	0,00000		
Salud	Probabilidad de suscitar retenciones por riesgo para la salud (0=NINGUNA; 1=BAJA; 2=MEDIA; 3=ALTA)	1	-0,33333	0,00000		

Tabla A.5: Parámetros de salida y_k y figuras de mérito F1 y F2 en escenario 4G-LTE.

OBTENCIÓN DEL MÍNIMO NÚMERO DE ACCESOS REDUNDANTES R PARA CUMPLIR REQUISITOS DE CLIENTE

	Parámetros Salida	y_k	Valor mínimo de r_k para cumplir requisitos de cliente				
VELOCIDAD DE RECEPCIÓN	Ancho de Banda MEDIO por usuario en acceso (Mbits/s por usuario)	23,9	2	<table border="1"> <tr> <td>CONCLUSIÓN</td> </tr> <tr> <td>SÍ CUMPLE CON:</td> </tr> <tr> <td>$R = 2$</td> </tr> </table>	CONCLUSIÓN	SÍ CUMPLE CON:	$R = 2$
CONCLUSIÓN							
SÍ CUMPLE CON:							
$R = 2$							
VELOCIDAD DE EMISIÓN	Ancho de Banda MEDIO por usuario en acceso (Mbits/s por usuario)	7,9	1				
DISPONIBILIDAD	Disponibilidad	99,9952%	2				
DISTANCIA	Distancia usuario a punto de acceso (metros)	15000	CUMPLE				
	Distancia total usuario a nodo de acceso (m)	15.000	CUMPLE				
COSTE	CapEx + OpEx (Año 1)	543,00 €	CUMPLE				
QoS	Capacidad para QoS	VERDADERO	CUMPLE				
LOS	LOS desde usuario a punto de acceso (Line of Sight Necesaria ?)	N/A	CUMPLE				
	LOS desde punto de acceso a nodo de acceso necesaria?	N/A	CUMPLE				
LICENCIA	Necesita Licencia ?	VERDADERO	CUMPLE				
Ubicuidad	Ubicuidad en domicilio de cliente	SI	CUMPLE				
Salud	Probabilidad de suscitar retenciones por riesgo para la salud (0=NINGUNA; 1=BAJA; 2=MEDIA; 3=ALTA)	1	CUMPLE				

Tabla A.6: Mínimo número de accesos redundantes R para que la tecnología 4G-LTE cumpla los requisitos de usuario establecidos.

A.3 Escenario 5: Acceso FTTH con router virtualizado

A continuación se muestran los parámetros de entrada del modelo, así como los resultados obtenidos aplicando el modelo para este escenario. La incidencia de la virtualización del router con respecto a un acceso FTTH convencional se plasma en una mayor disponibilidad, dado que se elimina un equipo en instalaciones del cliente (elemento conectado en serie) y la función de routing se encuentra respaldada en el Datacenter de virtualización, y un menor coste (al reducirse el coste de despliegue CapEx y el de mantenimiento OpEx).

En las siguientes tablas, se muestran los parámetros de entrada del modelo que se utilizan como ejemplo en este escenario, así como los parámetros de salida obtenidos aplicando el modelo UTEM para este escenario. Cualquier variación en los parámetros de entrada, en los requisitos de cliente o en las preferencias de usuario, dará lugar a unos resultados diferentes.

PARÁMETROS DE ENTRADA x_{ij} del MODELO UTEM

NOMBRE ESCENARIO: FTTH con router virtualizado

	Parámetro Entrada	Interfaz PC	Elemento 1	Elemento 2	Elemento 3
Identificación del elemento	Nombre del elemento	Adaptador Wireless 802.11b/g U.S. ROBOTICS	FTTH Subscriber Terminal	Nodo de acceso (OLT)	Red de Agregación
	Función del elemento	Tarjeta Fast Ethernet	ONU + router virtualizado	Nodo de acceso (Interfaz acceso óptico)	Interfaz Agregación
Ancho de Banda	Ancho de Banda Unitario (Mbits/s) (Recepción)	100	100	100	100
	Ancho de Banda Unitario (Mbits/s) (Emisión)	100	10	10	10
Disponibilidad	Disponibilidad	99,9962%	100,0000%	99,9990%	100,0000%
Distancia	Distancia (metros)	N/A	N/A	15000	N/A
QoS	Capacidad para QoS	N/A	VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO

Redundancia	Redundancia (Nº elementos en paralelo)	1	1	1	1
LOS	LOS (Line of Sight Necesaria ?)	N/A	N/A	N/A	N/A
Banda de frecuencias	Banda (GHz)	N/A	N/A	N/A	N/A
Licencia	Necesita Licencia ?	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO
Usuarios	Nº usuarios:	1	1	N/A	N/A
Concurrencia	Concurrencia media estimada de usuarios	N/A	100,00%	N/A	N/A
Tecnología	¿Utiliza tecnología inalámbrica en algún tramo?	NO	NO	NO	NO
Entorno	VectorEntorno (URBANO DENSO / URBANO / SUBURBANO / RURAL)	(1,1,1,1)	(1,1,1,1)	(1,1,1,1)	(1,1,1,1)
Atenuación por meteorología	Disminución total de Ancho de Banda en Recepción por efectos meteorológicos (Mbits/s)	0	0	0	0
	Disminución total de Ancho de Banda en Emisión por efectos meteorológicos (Mbits/s)	0	0	0	0
Ubicuidad	Ubicuidad en domicilio de cliente	SI	N/A	N/A	N/A
Salud	Probabilidad de suscitar retenciones por riesgo para la salud (0=NINGUNA; 1=BAJA; 2=MEDIA; 3=ALTA)	1	0	0	0
K (tipo de interés)	Tipo de interés	1,00%	N/A	N/A	N/A
ARPU año 1	Ingresos medios por usuario (Año 1)	704,88 €			
ARPU año 2	Ingresos medios por usuario (Año 1)	704,88 €			
ARPU año 3	Ingresos medios por usuario (Año 1)	704,88 €			
CAPEX año 1	Inversiones (Año 1)	15,00 €	25,00 €	150,00 €	200,00 €
CAPEX año 2	Inversiones (Año 2)				
CAPEX año 3	Inversiones (Año 3)				
OPEX año 1	Gastos de Operación (Año 1)	0,0006 €	0,0000 €	0,0015 €	0,0000 €
OPEX año 2	Gastos de Operación (Año 2)	0,0006 €	0,0000 €	0,0015 €	0,0000 €
OPEX año 3	Gastos de Operación (Año 3)	0,0006 €	0,0000 €	0,0015 €	0,0000 €

Tabla A.7: Parámetros de entrada en escenario FTTH con router virtualizado.

PARÁMETROS DE SALIDA y_k y Figuras de mérito F1 y F2

	Parámetros Salida	y_k	$a_k \cdot \bar{y}_k$	$b_P \cdot y_k$	Valoración Ponderada	
					F1	F2
VELOCIDAD DE RECEPCIÓN	Ancho de Banda MEDIO (Mbits/s por usuario)	100	1,0000	0,0000	77,36 %	198,35 %/K€
VELOCIDAD DE EMISIÓN	Ancho de Banda MEDIO (Mbits/s por usuario)	10	1,0000	0,0000		
DISPONIBILIDAD	Disponibilidad	99,9952%	0,0527	0,0000		
DISTANCIA	Distancia usuario a punto de acceso (metros)	15.000	0,4997	0,0000		
	Distancia total usuario a nodo de acceso (m)	15.000	0,4997	0,0000		
ARPU año 1	Ingresos medios por usuario (Año 1)	704,88 €	0,0000	0,0000		
ARPU año 2	Ingresos medios por usuario (Año 1)	704,88 €	0,0000	0,0000		
ARPU año 3	Ingresos medios por usuario (Año 1)	704,88 €	0,0000	0,0000		
CAPEX año 1	Inversiones (Año 1)	390,00 €	0,0000	0,0000		
CAPEX año 2	Inversiones (Año 2)	0,00 €	0,0000	0,0000		
CAPEX año 3	Inversiones (Año 3)	0,00 €	0,0000	0,0000		
OPEX año 1	Gastos de Operación (Año 1)	0,00 €	0,0000	0,0000		
OPEX año 2	Gastos de Operación (Año 2)	0,00 €	0,0000	0,0000		
OPEX año 3	Gastos de Operación (Año 3)	0,00 €	0,0000	0,0000		
NPV	Valor actual neto (Net Present Value) a tipo de interés K	1.686,90 €	0,0000	0,0000		
Flujo de Caja Neto	Net Cash Flow (no se tiene en cuenta el tipo de interés K)	1.724,63 €	0,0000	0,0000		
Payback Period (años)	Período de Amortización	1,00	0,0000	0,0000		
COSTE	CapEx + OpEx (año 1)	390,00 €	0,0000	390,0021 €		
QoS	Capacidad para QoS	VERDADERO	1,0000	0,0000		
LOS	LOS desde usuario a punto de acceso (Line of Sight Necesaria ?)	N/A	0,0000	0,0000		
	LOS desde punto de acceso a nodo de acceso necesaria?	N/A	0,0000	0,0000		
LICENCIA	Necesita Licencia ?	FALSO	0,0000	0,0000		
Ubicuidad	Ubicuidad en domicilio de cliente	SI	1,0000	0,0000		
Salud	Probabilidad de suscitar retenciones por riesgo para la salud (0=NINGUNA; 1=BAJA; 2=MEDIA; 3=ALTA)	1	-0,3333	0,0000		

Tabla A.8: Parámetros de salida y_k y figuras de mérito F1 y F2 en escenario FTTH con router virtualizado.

OBTENCIÓN DEL MÍNIMO NÚMERO DE ACCESOS REDUNDANTES R PARA CUMPLIR REQUISITOS DE CLIENTE

	Parámetros Salida	y_k	Valor mínimo de r_k para cumplir requisitos de cliente				
VELOCIDAD DE RECEPCIÓN	Ancho de Banda MEDIO por usuario en acceso (Mbits/s por usuario)	100	1	<table border="1"> <tr> <td>CONCLUSIÓN</td> </tr> <tr> <td>SÍ CUMPLE CON:</td> </tr> <tr> <td>R = 2</td> </tr> </table>	CONCLUSIÓN	SÍ CUMPLE CON:	R = 2
CONCLUSIÓN							
SÍ CUMPLE CON:							
R = 2							
VELOCIDAD DE EMISIÓN	Ancho de Banda MEDIO por usuario en acceso (Mbits/s por usuario)	10	1				
DISPONIBILIDAD	Disponibilidad	99,9952%	2				
DISTANCIA	Distancia usuario a punto de acceso (metros)	15000	CUMPLE				
	Distancia total usuario a nodo de acceso (m)	15.000	CUMPLE				
COSTE	CapEx + OpEx (Año 1)	390,0021 €	CUMPLE				
QoS	Capacidad para QoS	VERDADERO	CUMPLE				
LOS	LOS desde usuario a punto de acceso (Line of Sight Necesaria ?)	N/A	CUMPLE				
	LOS desde punto de acceso a nodo de acceso necesaria?	N/A	CUMPLE				
LICENCIA	Necesita Licencia ?	FALSO	CUMPLE				
Ubicuidad	Ubicuidad en domicilio de cliente	SI	CUMPLE				
Salud	Probabilidad de suscitar retenciones por riesgo para la salud (0=NINGUNA; 1=BAJA; 2=MEDIA; 3=ALTA)	1	CUMPLE				

Tabla A.9: Mínimo número de accesos redundantes R para que la tecnología FTTH con router virtualizado cumpla los requisitos de usuario establecidos.

A.4 Escenario 6: Línea dedicada punto a punto 34 Mbits/s

Este escenario como bien se mencionaba tiene que ver con la motivación de la presente tesis doctoral, dado que emana de la necesidad de buscar soluciones más económicas y con idénticas prestaciones de ancho de banda y disponibilidad que las líneas punto a punto, según lo expuesto en el Capítulo Introducción. El ancho de banda simétrico de 34 Mbits/s corresponde al estándar E3 en Jerarquía Digital Plesiócrona (PDH).

En las siguientes tablas, se muestran los parámetros de entrada del modelo que se utilizan como ejemplo en este escenario, así como los parámetros de salida obtenidos aplicando el modelo UTEM para este escenario. Cualquier variación en los parámetros de entrada, en los requisitos de cliente o en las preferencias de usuario, dará lugar a unos resultados diferentes.

PARÁMETROS DE ENTRADA x_{ij} del MODELO UTEM

NOMBRE ESCENARIO: Línea dedicada punto a punto 34 Mbits/s

	Parámetro Entrada	Interfaz PC	Elemento 1	Elemento 2	Elemento 3
Identificación del elemento	Nombre del elemento	Adaptador Wireless 802.11b/g U.S. ROBOTICS USR805420	CISCO 1841 Router G.703 interface	Terminal Multiplexer Valiant VLC100	Access Node
	Función del elemento	Tarjeta Fast Ethernet	Router en domicilio de cliente	Interfaz de acceso	Interfaz de agregación
Ancho de Banda	Ancho de Banda Unitario (Mbits/s) (Recepción)	100	34	34	34
	Ancho de Banda Unitario (Mbits/s) (Emisión)	100	2	2	12
Disponibilidad	Disponibilidad	100,0000%	100,0000%	100,0000%	100,0000%
Distancia	Distancia (metros)	N/A	N/A	5000	N/A
QoS	Capacidad para QoS	N/A	VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO
Redundancia	Redundancia (Nº elementos en paralelo)	1	1	2	1

LOS	LOS (Line of Sight Necesaria ?)	N/A	N/A	N/A	N/A
Banda de frecuencias	Banda (GHz)	N/A	N/A	N/A	N/A
Licencia	Necesita Licencia ?	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO
Usuarios	Nº usuarios:	1	1	N/A	N/A
Concurrencia	Concurrencia media estimada de usuarios	N/A	100,00%	N/A	N/A
Tecnología	¿Utiliza tecnología inalámbrica en algún tramo?	NO	NO	NO	NO
Entorno	VectorEntorno (URBANO DENS0 / URBANO / SUBURBANO / RURAL)	(1,1,1,0)	(1,1,1,0)	(1,1,1,0)	(1,1,1,0)
Atenuación por meteorología	Disminución total de Ancho de Banda en Recepción por efectos meteorológicos (Mbits/s)	0	0	0	0
	Disminución total de Ancho de Banda en Emisión por efectos meteorológicos (Mbits/s)	0	0	0	0
Ubicuidad	Ubicuidad en domicilio de cliente	SI	N/A	N/A	N/A
Salud	Probabilidad de suscitar retenciones por riesgo para la salud (0=NINGUNA; 1=BAJA; 2=MEDIA; 3=ALTA)	0	0	0	0
K (tipo de interés)	Tipo de interés	1,00%	N/A	N/A	N/A
ARPU año 1	Ingresos medios por usuario (Año 1)	14.000,00 €			
ARPU año 2	Ingresos medios por usuario (Año 1)	12.000,00 €			
ARPU año 3	Ingresos medios por usuario (Año 1)	12.000,00 €			
CAPEX año 1	Inversiones (Año 1)	150,00 €	1.000,00 €	1.000,00 €	500,00 €
CAPEX año 2	Inversiones (Año 2)				
CAPEX año 3	Inversiones (Año 3)				
OPEX año 1	Gastos de Operación (Año 1)	0,00000 €	0,00000 €	0,00000 €	0,00000 €
OPEX año 2	Gastos de Operación (Año 2)	0,00000 €	0,00000 €	0,00000 €	0,00000 €
OPEX año 3	Gastos de Operación (Año 3)	0,00000 €	0,00000 €	0,00000 €	0,00000 €

Tabla A.10: Parámetros de entrada en escenario Línea dedicada punto a punto 34 Mbits/s.

PARÁMETROS DE SALIDA y_k y Figuras de mérito F1 y F2

	Parámetros Salida	y_k	$a_k \cdot \bar{y}_k$	$b_P \cdot y_k$	Valoración Ponderada	
					F1	F2
VELOCIDAD DE RECEPCIÓN	Ancho de Banda MEDIO (Mbits/s por usuario)	34	0,0571	0,0000	107,9 6%	40,74 %/K€
VELOCIDAD DE EMISIÓN	Ancho de Banda MEDIO (Mbits/s por usuario)	34	4,4286	0,0000		
DISPONIBILIDAD	Disponibilidad	100,0000%	0,1010	0,0000		
DISTANCIA	Distancia usuario a punto de acceso (metros)	5000	0,1661	0,0000		
	Distancia total usuario a nodo de acceso (m)	5.000	0,1661	0,0000		
ARPU año 1	Ingresos medios por usuario (Año 1)	14.000,00 €	0,0000	0,0000		
ARPU año 2	Ingresos medios por usuario (Año 1)	12.000,00 €	0,0000	0,0000		
ARPU año 3	Ingresos medios por usuario (Año 1)	12.000,00 €	0,0000	0,0000		
CAPEX año 1	Inversiones (Año 1)	2.650,00 €	0,0000	0,0000		
CAPEX año 2	Inversiones (Año 2)	0,000 €	0,0000	0,0000		
CAPEX año 3	Inversiones (Año 3)	0,000 €	0,0000	0,0000		
OPEX año 1	Gastos de Operación (Año 1)	0,000 €	0,0000	0,0000		
OPEX año 2	Gastos de Operación (Año 2)	0,000 €	0,0000	0,0000		
OPEX año 3	Gastos de Operación (Año 3)	0,000 €	0,0000	0,0000		
NPV	Valor actual neto (Net Present Value) a tipo de interés K	34.648,26 €	0,0000	0,0000		
Flujo de Caja Neto	Net Cash Flow (no se tiene en cuenta el tipo de interés K)	35.350,00 €	0,0000	0,0000		
Payback Period (años)	Período de Amortización	1,00	0,0000	0,0000		
COSTE	CapEx + OpEx (año 1)	2.650,0000 €	0,0000	2.650,0000 €		
QoS	Capacidad para QoS	VERDADERO	1,0000	0,0000		
LOS	LOS desde usuario a punto de acceso (Line of Sight Necesaria ?)	N/A	0,0000	0,0000		
	LOS desde punto de acceso a nodo de acceso necesaria?	N/A	0,0000	0,0000		
LICENCIA	Necesita Licencia ?	FALSO	0,0000	0,0000		
Ubicuidad	Ubicuidad en domicilio de cliente	SI	1,0000	0,0000		
Salud	Probabilidad de suscitar retenciones por riesgo para la salud (0=NINGUNA; 1=BAJA; 2=MEDIA; 3=ALTA)	0	-0,3333	0,0000		

Tabla A.11: Parámetros de salida y_k y figuras de mérito F1 y F2 en escenario Línea dedicada punto a punto 34 Mbits/s.

OBTENCIÓN DEL MÍNIMO NÚMERO DE ACCESOS REDUNDANTES R PARA CUMPLIR REQUISITOS DE CLIENTE

	Parámetros Salida	y_k	Valor mínimo de r_k para cumplir requisitos de cliente	
VELOCIDAD DE RECEPCIÓN	Ancho de Banda MEDIO por usuario en acceso (Mbits/s por usuario)	34	1	
VELOCIDAD DE EMISIÓN	Ancho de Banda MEDIO por usuario en acceso (Mbits/s por usuario)	34	1	
DISPONIBILIDAD	Disponibilidad	100,0000%	1	
DISTANCIA	Distancia usuario a punto de acceso (metros)	5.000	CUMPLE	CONCLUSIÓN
	Distancia total usuario a nodo de acceso (m)	5.000	CUMPLE	
COSTE	CapEx + OpEx (Año 1)	2.650,00 €	CUMPLE	SÍ CUMPLE CON:
QoS	Capacidad para QoS	VERDADERO	CUMPLE	R = 1
LOS	LOS desde usuario a punto de acceso (Line of Sight Necesaria ?)	N/A	CUMPLE	
	LOS desde punto de acceso a nodo de acceso necesaria?	N/A	CUMPLE	
LICENCIA	Necesita Licencia ?	FALSO	CUMPLE	
Ubicuidad	Ubicuidad en domicilio de cliente	SI	CUMPLE	
Salud	Probabilidad de suscitar retenciones por riesgo para la salud (0=NINGUNA; 1=BAJA; 2=MEDIA; 3=ALTA)	0	CUMPLE	

Tabla A.12: Mínimo número de accesos redundantes R para que la tecnología Línea dedicada punto a punto 34 Mbits/s cumpla los requisitos de usuario establecidos.

A.5 Escenario 7: Acceso redundante 2 x ADSL

En este apartado se procede a validar el modelo utilizando un acceso redundante 2 x ADSL (i.e.: dos accesos ADSL en paralelo). En las siguientes tablas, se muestran los parámetros de entrada del modelo que se utilizan como ejemplo en este escenario, así como los parámetros de salida obtenidos aplicando el modelo UTEM para este escenario. Cualquier variación en los parámetros de entrada, en los requisitos de cliente o en las preferencias de usuario, dará lugar a unos resultados diferentes.

PARÁMETROS DE ENTRADA x_{ij} del MODELO UTEM

NOMBRE ESCENARIO: Acceso redundante 2 x ADSL

	Parámetro Entrada	Interfaz PC	Elemento 1	Elemento 2	Elemento 3
Identificación del elemento	Nombre del elemento	Adaptador Wireless 802.11b/g U.S. ROBOTICS USR805420	Router 3COM OfficeConnect 812	DSLAM (Alcatel 7300)	Red de agregación
	Función del elemento	Adaptador Wi-Fi PC	Router en domicilio de cliente	Interfaz Acceso	Interfaz Agregación
Ancho de Banda	Ancho de Banda Unitario (Mbits/s) (Recepción)	100	10	10	10
	Ancho de Banda Unitario (Mbits/s) (Emisión)	100	3	3	3
Disponibilidad	Disponibilidad	99,9962%	99,9644%	99,9990%	100,0000%
Distancia	Distancia (metros)	N/A	N/A	4500	N/A
QoS	Capacidad para QoS	N/A	VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO
Redundancia	Redundancia (Nº elementos en paralelo)	1	2	2	2
LOS	LOS (Line of Sight Necesaria ?)	N/A	N/A	N/A	N/A
Banda de frecuencias	Banda (GHz)	N/A	N/A	N/A	N/A
Licencia	Necesita Licencia ?	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO

Usuarios	Nº usuarios:	1	1	N/A	N/A
Concurrencia	Concurrencia media estimada de usuarios	N/A	100,00%	N/A	N/A
Tecnología	¿Utiliza tecnología inalámbrica en algún tramo?	N/A	100,00%	N/A	N/A
Entorno	VectorEntorno (URBANO DENS0 / URBANO / SUBURBANO / RURAL)	N/A	100,00%	N/A	N/A
Atenuación por meteorología	Disminución total de Ancho de Banda en Recepción por efectos meteorológicos (Mbits/s)	NO	NO	NO	NO
	Disminución total de Ancho de Banda en Emisión por efectos meteorológicos (Mbits/s)	(1,1,1,1)	(1,1,1,1)	(1,1,1,1)	(1,1,1,1)
Ubicuidad	Ubicuidad en domicilio de cliente	0	0	0	0
Salud	Probabilidad de suscitar retenciones por riesgo para la salud (0=NINGUNA; 1=BAJA; 2=MEDIA; 3=ALTA)	0	0	0	0
K (tipo de interés)	Tipo de interés	SI	N/A	N/A	N/A
ARPU año 1	Ingresos medios por usuario (Año 1)	1	0	0	0
ARPU año 2	Ingresos medios por usuario (Año 1)	1,00%			
ARPU año 3	Ingresos medios por usuario (Año 1)	833,08 €			
CAPEX año 1	Inversiones (Año 1)	727,20 €			
CAPEX año 2	Inversiones (Año 2)	727,20 €			
CAPEX año 3	Inversiones (Año 3)	15,00 €	200,00 €	200,00 €	200,00 €
OPEX año 1	Gastos de Operación (Año 1)				
OPEX año 2	Gastos de Operación (Año 2)				
OPEX año 3	Gastos de Operación (Año 3)	0,0006 €	0,0711 €	0,0020 €	0,0000 €

Tabla A.13: Parámetros de entrada en escenario Acceso redundante 2 x ADSL.

PARÁMETROS DE SALIDA y_k y Figuras de mérito F1 y F2

	Parámetros Salida	y_k	$a_k \cdot \bar{y}_k$	$b_P \cdot y_k$	Valoración Ponderada	
					F1	F2
VELOCIDAD DE RECEPCIÓN	Ancho de Banda MEDIO (Mbits/s por usuario)	20	-0,1429	0,0000	37,93 %	61,67 %/K€
VELOCIDAD DE EMISIÓN	Ancho de Banda MEDIO (Mbits/s por usuario)	6	0,4286	0,0000		
DISPONIBILIDAD	Disponibilidad	99,9962%	0,0626	0,0000		
DISTANCIA	Distancia usuario a punto de acceso (metros)	4500	0,1494	0,0000		
	Distancia total usuario a nodo de acceso (m)	4.500	0,1494	0,0000		
ARPU año 1	Ingresos medios por usuario (Año 1)	833,08 €	0,0000	0,0000		
ARPU año 2	Ingresos medios por usuario (Año 1)	727,20 €	0,0000	0,0000		
ARPU año 3	Ingresos medios por usuario (Año 1)	727,20 €	0,0000	0,0000		
CAPEX año 1	Inversiones (Año 1)	615,00 €	0,0000	0,0000		
CAPEX año 2	Inversiones (Año 2)	0,00 €	0,0000	0,0000		
CAPEX año 3	Inversiones (Año 3)	0,00 €	0,0000	0,0000		
OPEX año 1	Gastos de Operación (Año 1)	0,07 €	0,0000	0,0000		
OPEX año 2	Gastos de Operación (Año 2)	0,07 €	0,0000	0,0000		
OPEX año 3	Gastos de Operación (Año 3)	0,07 €	0,0000	0,0000		
NPV	Valor actual neto (Net Present Value) a tipo de interés K	1.634,39 €	0,0000	0,0000		
Flujo de Caja Neto	Net Cash Flow (no se tiene en cuenta el tipo de interés K)	1.672,26 €	0,0000	0,0000		
Payback Period (años)	Período de Amortización	1,00	0,0000	0,0000		
COSTE	CapEx + OpEx (año 1)	615,0737 €	0,0000	615,0737 €		
QoS	Capacidad para QoS	VERDADERO	1,0000	0,0000		
LOS	LOS desde usuario a punto de acceso (Line of Sight Necesaria ?)	N/A	0,0000	0,0000		
	LOS desde punto de acceso a nodo de acceso necesaria?	N/A	0,0000	0,0000		
LICENCIA	Necesita Licencia ?	FALSO	0,0000	0,0000		
Ubicuidad	Ubicuidad en domicilio de cliente	SI	1,0000	0,0000		
Salud	Probabilidad de suscitar retenciones por riesgo para la salud (0=NINGUNA; 1=BAJA; 2=MEDIA; 3=ALTA)	1	-0,3333	0,0000		

Tabla A.14: Parámetros de salida y_k y figuras de mérito F1 y F2 en escenario Acceso redundante 2 x ADSL.

OBTENCIÓN DEL MÍNIMO NÚMERO DE ACCESOS REDUNDANTES R PARA CUMPLIR REQUISITOS DE CLIENTE

	Parámetros Salida	y_k	Valor mínimo de r_k para cumplir requisitos de cliente	
VELOCIDAD DE RECEPCIÓN	Ancho de Banda MEDIO por usuario en acceso (Mbits/s por usuario)	20	2	
VELOCIDAD DE EMISIÓN	Ancho de Banda MEDIO por usuario en acceso (Mbits/s por usuario)	6	1	
DISPONIBILIDAD	Disponibilidad	99,9962%	2	
DISTANCIA	Distancia usuario a punto de acceso (metros)	4500	CUMPLE	CONCLUSIÓN
	Distancia total usuario a nodo de acceso (m)	4.500	CUMPLE	
COSTE	CapEx + OpEx (Año 1)	615,07 €	CUMPLE	SÍ CUMPLE CON:
QoS	Capacidad para QoS	VERDADERO	CUMPLE	R = 2
LOS	LOS desde usuario a punto de acceso (Line of Sight Necesaria ?)	N/A	CUMPLE	
	LOS desde punto de acceso a nodo de acceso necesaria?	N/A	CUMPLE	
LICENCIA	Necesita Licencia ?	FALSO	CUMPLE	
Ubicuidad	Ubicuidad en domicilio de cliente	SI	CUMPLE	
Salud	Probabilidad de suscitar retenciones por riesgo para la salud (0=NINGUNA; 1=BAJA; 2=MEDIA; 3=ALTA)	1	CUMPLE	

Tabla A.15: Mínimo número de accesos redundantes R para que la tecnología Acceso redundante 2 x ADSL cumpla los requisitos de usuario establecidos.

A.6 Escenario 8: ADSL en paralelo con punto de acceso WiFi IEEE 802.11g y backhaul WiMAX 802.16

En las siguientes tablas, se muestran los parámetros de entrada del modelo que se utilizan como ejemplo en este escenario, así como los parámetros de salida obtenidos aplicando el modelo UTEM para este escenario. Cualquier variación en los parámetros de entrada, en los requisitos de cliente o en las preferencias de usuario, dará lugar a unos resultados diferentes. En este caso se muestran los parámetros de entrada y salida del Submodelo Paralelo, una vez se han obtenido los parámetros equivalentes de cada acceso individual mediante el Submodelo Serie.

PARÁMETROS DE ENTRADA x_{ij} del MODELO UTEM

NOMBRE ESCENARIO: ADSL en paralelo con punto de acceso WiFi IEEE 802.11g y backhaul WiMAX 802.16

	Parámetro Entrada	Acceso 1	Acceso 2
Identificación del elemento	Nombre del Acceso	ADSL	802.11g + Backhaul WiMAX
	En Modo Respaldo ? (SI/NO) (RESPALDO = SI; AGREGADO = NO)	NO	NO
Ancho de Banda	Ancho de Banda Unitario (Mbits/s) (Recepción)	10	0,121230769
	Ancho de Banda Unitario (Mbits/s) (Emisión)	3	0,122461538
Disponibilidad	Disponibilidad	99,9597%	99,9760%
Distancia	Distancia usuario a punto de acceso (metros)	4.500	45
	Distancia total usuario a nodo de acceso (m)	4.500	45.045
Coste Anual	Coste Anual Servicio (€)	315,04 €	12,00 €
QoS	Capacidad para QoS	VERDADERO	VERDADERO
Redundancia	Redundancia (Nº elementos en paralelo)	1	1
LOS	LOS desde usuario a punto de acceso (Line of Sight Necesaria ?)	FALSO	VERDADERO
	LOS desde punto de acceso a nodo de red de transporte necesaria?	FALSO	VERDADERO
Banda de frecuencias	Banda (GHz)	N/A	2,4
Licencia	Necesita Licencia ?	FALSO	VERDADERO
Usuarios	Nº usuarios:	1	1

Concurrencia	Concurrencia media estimada de usuarios	N/A	N/A
Tecnología	¿Utiliza tecnología inalámbrica en algún tramo?	SI	SI
Entorno	Entorno (URBANO DENSO / URBANO / SUBURBANO / RURAL)	(1,1,1,1)	(1,1,1,1)
Atenuación por meteorología	Disminución total de Ancho de Banda en Recepción por efectos meteorológicos (Mbits/s)	0	0,03
	Disminución total de Ancho de Banda en Emisión por efectos meteorológicos (Mbits/s)	0	0,03
Ubicuidad	Ubicuidad en domicilio de cliente	SI	SI
Salud	Probabilidad de suscitar retenciones por riesgo para la salud (0=NINGUNA; 1=BAJA; 2=MEDIA; 3=ALTA)	1	2
ARPU año 1	Ingresos medios por usuario (Año 1)	416,54 €	174,00 €
ARPU año 2	Ingresos medios por usuario (Año 1)	363,60 €	144,00 €
ARPU año 3	Ingresos medios por usuario (Año 1)	363,60 €	144,00 €
CAPEX año 1	Inversiones (Año 1)	315,00 €	66,67 €
CAPEX año 2	Inversiones (Año 2)	0,00 €	0,00 €
CAPEX año 3	Inversiones (Año 3)	0,00 €	0,00 €
OPEX año 1	Gastos de Operación (Año 1)	0,04 €	0,00 €
OPEX año 2	Gastos de Operación (Año 2)	0,04 €	0,00 €
OPEX año 3	Gastos de Operación (Año 3)	0,04 €	0,00 €

Tabla A.16: Parámetros de entrada en escenario ADSL en paralelo con punto de acceso WiFi IEEE 802.11g y backhaul WiMAX 802.16.

PARÁMETROS DE SALIDA y_k y Figuras de mérito F1 y F2

	Parámetros Salida	y_k	$a_k \cdot \bar{y}_k$	$b_p \cdot y_k$	Valoración Ponderada	
					F1	F2
VELOCIDAD DE RECEPCIÓN	Ancho de Banda MEDIO (Mbits/s por usuario)	10,09123077	-0,28441	0,00000	-22,19%	-58,12 %/K€
VELOCIDAD DE EMISIÓN	Ancho de Banda MEDIO (Mbits/s por usuario)	3,092461538	0,01321	0,00000		
DISPONIBILIDAD	Disponibilidad	99,999990%	0,10091	0,00000		
DISTANCIA	Distancia usuario a punto de acceso (metros)	45	0,00083	0,00000		
	Distancia total usuario a nodo de acceso (m)	4.500	0,14943	0,00000		
ARPU año 1	Ingresos medios por usuario (Año 1)	590,54 €	0,00000	0,00000		
ARPU año 2	Ingresos medios por usuario (Año 1)	507,60 €	0,00000	0,00000		
ARPU año 3	Ingresos medios por usuario (Año 1)	507,60 €	0,00000	0,00000		
CAPEX año 1	Inversiones (Año 1)	381,67 €	0,00000	0,00000		
CAPEX año 2	Inversiones (Año 2)	0,00 €	0,00000	0,00000		
CAPEX año 3	Inversiones (Año 3)	0,00 €	0,00000	0,00000		
OPEX año 1	Gastos de Operación (Año 1)	0,04 €	0,00000	0,00000		
OPEX año 2	Gastos de Operación (Año 2)	0,04 €	0,00000	0,00000		
OPEX año 3	Gastos de Operación (Año 3)	0,04 €	0,00000	0,00000		
NPV	Valor actual neto (Net Present Value) a tipo de interés K	1.196,96 €	0,00000	0,00000		
Flujo de Caja Neto	Net Cash Flow (no se tiene en cuenta el tipo de interés K)	1.223,96 €	0,00000	0,00000		
Payback Period (años)	Período de Amortización	1,00 €	0,00000	0,00000		
COSTE	CapEx + OpEx (año 1)	381,7048 €	0,00000	381,7048 €		
QoS	Capacidad para QoS	VERDADERO	1,00000	0,00000		
LOS	LOS desde usuario a punto de acceso (Line of Sight Necesaria ?)	VERDADERO	-1,00000	0,00000		
	LOS desde punto de acceso a nodo de acceso necesaria?	VERDADERO	-1,00000	0,00000		
LICENCIA	Necesita Licencia ?	VERDADERO	-1,00000	0,00000		
Ubicuidad	Ubicuidad en domicilio de cliente	SI	1,00000	0,00000		
Salud	Probabilidad de suscitar retenciones por riesgo para la salud (0=NINGUNA; 1=BAJA; 2=MEDIA; 3=ALTA)	1	-0,33333	0,00000		

Tabla A.17: Parámetros de salida y_k y figuras de mérito F1 y F2 en escenario ADSL en paralelo con punto de acceso WiFi IEEE 802.11g y backhaul WiMAX 802.16.

OBTENCIÓN DEL MÍNIMO NÚMERO DE ACCESOS REDUNDANTES R PARA CUMPLIR REQUISITOS DE CLIENTE

	Parámetros Salida	y_k	Valor mínimo de r_k para cumplir requisitos de cliente	
VELOCIDAD DE RECEPCIÓN	Ancho de Banda MEDIO por usuario en acceso (Mbits/s por usuario)	10,09123077	3	
VELOCIDAD DE EMISIÓN	Ancho de Banda MEDIO por usuario en acceso (Mbits/s por usuario)	3,092461538	1	
DISPONIBILIDAD	Disponibilidad	99,999990%	2	
DISTANCIA	Distancia usuario a punto de acceso (metros)	45	CUMPLE	CONCLUSIÓN
	Distancia total usuario a nodo de acceso (m)	4.500	CUMPLE	
COSTE	CapEx + OpEx (Año 1)	381,70 €	CUMPLE	SÍ CUMPLE CON:
QoS	Capacidad para QoS	VERDADERO	CUMPLE	R = 3
LOS	LOS desde usuario a punto de acceso (Line of Sight Necesaria ?)	VERDADERO	CUMPLE	
	LOS desde punto de acceso a nodo de acceso necesaria?	VERDADERO	CUMPLE	
LICENCIA	Necesita Licencia ?	VERDADERO	CUMPLE	
Ubicuidad	Ubicuidad en domicilio de cliente	SI	CUMPLE	
Salud	Probabilidad de suscitar retenciones por riesgo para la salud (0=NINGUNA; 1=BAJA; 2=MEDIA; 3=ALTA)	1	CUMPLE	

Tabla A.18: Mínimo número de accesos redundantes R para que la tecnología ADSL en paralelo con punto de acceso WiFi IEEE 802.11g y backhaul WiMAX 802.16, cumpla los requisitos de cliente.

A.7 Escenario 9: VDSL

En las siguientes tablas, se muestran los parámetros de entrada del modelo que se utilizan como ejemplo en este escenario, así como los parámetros de salida obtenidos aplicando el modelo UTEM para este escenario. Cualquier variación en los parámetros de entrada, en los requisitos de cliente o en las preferencias de usuario, dará lugar a unos resultados diferentes.

PARÁMETROS DE ENTRADA x_{ij} del MODELO UTEM

NOMBRE ESCENARIO: VDSL

	Parámetro Entrada	Interfaz PC	Elemento 1	Elemento 2	Elemento 3
Identificación del elemento	Nombre del elemento	Adaptador Wireless 802.11b/g U.S. ROBOTICS USR805420	D-LINK DEV-311 VDSL Bridge Remote Unit	DSLAM (Alcatel 7300)	Red de agregación
	Función del elemento	Adaptador Wi-Fi PC	Router en domicilio de cliente	Interfaz Acceso	Interfaz Agregación
Ancho de Banda	Ancho de Banda Unitario (Mbits/s) (Recepción)	100	50	50	50
	Ancho de Banda Unitario (Mbits/s) (Emisión)	100	5	5	5
Disponibilidad	Disponibilidad	99,9962%	99,9644%	99,9990%	100,0000%
Distancia	Distancia (metros)	N/A	N/A	600	N/A
QoS	Capacidad para QoS	N/A	VERDADERO	VERDADERO	VERDADERO
Redundancia	Redundancia (Nº elementos en paralelo)	1	1	1	1
LOS	LOS (Line of Sight Necesaria ?)	N/A	N/A	N/A	N/A
Banda de frecuencias	Banda (GHz)	N/A	N/A	N/A	N/A

Licencia	Necesita Licencia ?	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO
Usuarios	Nº usuarios:	1	1	N/A	N/A
Concurrencia	Concurrencia media estimada de usuarios	N/A	100,00%	N/A	N/A
Tecnología	¿Utiliza tecnología inalámbrica en algún tramo?	NO	NO	NO	NO
Entorno	VectorEntorno (URBANO DENS0 / URBANO / SUBURBANO / RURAL)	(1,1,1,1)	(1,1,1,1)	(1,1,1,1)	(1,1,1,1)
Atenuación por meteorología	Disminución total de Ancho de Banda en Recepción por efectos meteorológicos (Mbits/s)	0	0	0	0
	Disminución total de Ancho de Banda en Emisión por efectos meteorológicos (Mbits/s)	0	0	0	0
Ubicuidad	Ubicuidad en domicilio de cliente	SI	N/A	N/A	N/A
Salud	Probabilidad de suscitar retenciones por riesgo para la salud (0=NINGUNA; 1=BAJA; 2=MEDIA; 3=ALTA)	1	0	0	0
K (tipo de interés)	Tipo de interés	1,00%	N/A	N/A	N/A
ARPU año 1	Ingresos medios por usuario (Año 1)	592,94 €			
ARPU año 2	Ingresos medios por usuario (Año 1)	540,00 €			
ARPU año 3	Ingresos medios por usuario (Año 1)	540,00 €			
CAPEX año 1	Inversiones (Año 1)	15,00 €	125,00 €	125,00 €	100,00 €
CAPEX año 2	Inversiones (Año 2)				
CAPEX año 3	Inversiones (Año 3)				
OPEX año 1	Gastos de Operación (Año 1)	0,0006 €	0,0444 €	0,0013 €	0,0000 €
OPEX año 2	Gastos de Operación (Año 2)	0,0006 €	0,0444 €	0,0013 €	0,0000 €
OPEX año 3	Gastos de Operación (Año 3)	0,0006 €	0,0444 €	0,0013 €	0,0000 €

Tabla A.19: Parámetros de entrada en escenario VDSL.

PARÁMETROS DE SALIDA y_k y Figuras de mérito F1 y F2

					Valoración Ponderada	
	Parámetros Salida	y_k	$a_k \cdot \bar{y}_k$	$b_P \cdot y_k$	F1	F2
VELOCIDAD DE RECEPCIÓN	Ancho de Banda MEDIO (Mbits/s por usuario)	50	0,2857	0,0000	32,30 %	88,48 %/K€
VELOCIDAD DE EMISIÓN	Ancho de Banda MEDIO (Mbits/s por usuario)	5	0,2857	0,0000		
DISPONIBILIDAD	Disponibilidad	99,9597%	-0,3065	0,0000		
DISTANCIA	Distancia usuario a punto de acceso (metros)	600	0,0193	0,0000		
	Distancia total usuario a nodo de acceso (m)	600	0,0193	0,0000		
ARPU año 1	Ingresos medios por usuario (Año 1)	592,94 €	0,0000	0,0000		
ARPU año 2	Ingresos medios por usuario (Año 1)	540,00 €	0,0000	0,0000		
ARPU año 3	Ingresos medios por usuario (Año 1)	540,00 €	0,0000	0,0000		
CAPEX año 1	Inversiones (Año 1)	365,00 €	0,0000	0,0000		
CAPEX año 2	Inversiones (Año 2)	0,00 €	0,0000	0,0000		
CAPEX año 3	Inversiones (Año 3)	0,00 €	0,0000	0,0000		
OPEX año 1	Gastos de Operación (Año 1)	0,05 €	0,0000	0,0000		
OPEX año 2	Gastos de Operación (Año 2)	0,05 €	0,0000	0,0000		
OPEX año 3	Gastos de Operación (Año 3)	0,05 €	0,0000	0,0000		
NPV	Valor actual neto (Net Present Value) a tipo de interés K	1.279,03 €	0,0000	0,0000		
Flujo de Caja Neto	Net Cash Flow (no se tiene en cuenta el tipo de interés K)	1.307,80 €	0,0000	0,0000		
Payback Period (años)	Período de Amortización	175000%	0,0000	0,0000		
COSTE	CapEx + OpEx (año 1)	1,00	0,0000	0,0000		
QoS	Capacidad para QoS	365,0463 €	0,0000	365,0463 €		
LOS	LOS desde usuario a punto de acceso (Line of Sight Necesaria ?)	VERDADERO	1,0000	0,0000		
	LOS desde punto de acceso a nodo de acceso necesaria?	N/A	0,0000	0,0000		
LICENCIA	Necesita Licencia ?	N/A	0,0000	0,0000		
Ubicuidad	Ubicuidad en domicilio de cliente	FALSO	0,0000	0,0000		
Salud	Probabilidad de suscitar retenciones por riesgo para la salud (0=NINGUNA; 1=BAJA; 2=MEDIA; 3=ALTA)	SI	1,0000	0,0000		

Tabla A.20: Parámetros de salida y_k y figuras de mérito F1 y F2 en escenario VDSL.

OBTENCIÓN DEL MÍNIMO NÚMERO DE ACCESOS REDUNDANTES R PARA CUMPLIR REQUISITOS DE CLIENTE

	Parámetros Salida	y_k	Valor mínimo de r_k para cumplir requisitos de cliente	
VELOCIDAD DE RECEPCIÓN	Ancho de Banda MEDIO por usuario en acceso (Mbits/s por usuario)	50	1	
VELOCIDAD DE EMISIÓN	Ancho de Banda MEDIO por usuario en acceso (Mbits/s por usuario)	5	1	
DISPONIBILIDAD	Disponibilidad	99,9597%	2	
DISTANCIA	Distancia usuario a punto de acceso (metros)	600	CUMPLE	CONCLUSIÓN
	Distancia total usuario a nodo de acceso (m)	600	CUMPLE	
COSTE	CapEx + OpEx (Año 1)	365,0463 €	CUMPLE	SÍ CUMPLE CON:
QoS	Capacidad para QoS	VERDADERO	CUMPLE	R = 2
LOS	LOS desde usuario a punto de acceso (Line of Sight Necesaria ?)	N/A	CUMPLE	
	LOS desde punto de acceso a nodo de acceso necesaria?	N/A	CUMPLE	
LICENCIA	Necesita Licencia ?	FALSO	CUMPLE	
Ubicuidad	Ubicuidad en domicilio de cliente	SI	CUMPLE	
Salud	Probabilidad de suscitar retenciones por riesgo para la salud (0=NINGUNA; 1=BAJA; 2=MEDIA; 3=ALTA)	1	CUMPLE	

Tabla A.21: Mínimo número de accesos redundantes R para que la tecnología VDSL cumpla los requisitos de cliente establecidos.

BIBLIOGRAFÍA

- [FIS90] Fisher, G. D., Tat, N. y Djuran, M. "An Open Network Architecture for Integrated Broadband Communications". Integrated Broadband Services and Networks 1990, International Conference. IET, 1990.
- [FOX90] Fox, A. L., et al. "RACE BLNT: A Technology Solution for the Broadband Local Network". Integrated Broadband Services and Networks, 1990 International Conference. IET, 1990, p. 47-57.
- [GRA90] Graff, P., et al. "Techno-Economic Evaluation of the Transition to Broadband Networks". International Conference on Integrated Broadband Services and Networks, 1990. IET, 1990, p. 35-40.
- [BOC93] Böcker, G. J., et al. "A Techno-Economic Comparison of the RACE 2024 BAF and other Broadband Access System". Optical/Hybrid Access Networks, 1993, 5th Conference. IEEE, 1993.
- [MAG93] Maggi, W. y Polese, P. "Integrated Broadband Communications Development and Implementation Strategies". Electronics & Communication Engineering Journal, 1993, vol. 5.5, p.315-320.
- [EUR94] "Technical Advisory for a Fibre in the Loop TPO Network System". Project P306, Access Network Evolution for Implementation, Deliverable 1, 1994. Project Website: <http://archive.eurescom.eu/~pub/deliverables/documents/P300-series/P306/D1/p306-d1.pdf>.
- [ECO96] Economides, N. "The Economics of the Networks". International Journal of Industrial Organisation, 1996, vol. 14, n° 6, p. 673-699.
- [IMS96] Imms, L., et al. "Multiservice Access Network Upgrading in Europe: A Techno-Economic Analysis". Communications Magazine, IEEE 1996, vol. 34, n° 12, p. 124-134.
- [OLS96] Olsen, B. T. et al. "Techno-Economic Evaluation of Narrowband and Broadband Access Network Alternatives and Evolution Scenario Assessment". Journal of Selected Areas in Communications (IEEE), vol. 14, n° 6, 1996.
- [STOR98] Stordhal, K. et al. "Broadband Access Network Competition-Analysis of Technology and Market Risk". Global Telecommunications Conference (GLOBECOM), 1998. The Bridge to Global Integration. IEEE 1998, vol. 2, p. 1202-1207.

- [WEL99] Welling, I., et al "Economic Issues of Broadband Access Platform Evolution". Global Telecommunications Conference (GLOBECOM), 1999. IEEE 1999, vol. 2, p. 1097-1102.
- [JAN00] Jankovic, M., Petrovic, Z. y Dukic, M. "A Techno-Economic Study of Broadband Access Network Implementation Models". 10th Mediterranean Electrotechnical Conference, vol I, MEleCon 2000.
- [COR03] "Community Research and Development Information Service - CORDIS". Project IST-BROADWAN (CORDIS) 2003. Project Website: http://cordis.europa.eu/project/rcn/74613_en.html.
- [MON03] Monath, T., et al. " Economics of Fixed Broadband Access Network Strategies". Communications Magazine, IEEE, 2003, vol. 41, n°9, p.132-139.
- [WEL03] Welling, I. et al. "Techno-Economic Evaluation of 3G & WLAN Business Case Feasibility Under Varying Conditions". Telecommunications, 2003. ICT 2003. 10th International Conference. IEEE 2003, vol.1, p. 33-38.
- [BU04] Bendicho, C. y Unzilla, J. J. "What about "First Mile" Availability?. Telecommunications and Computer Networks (IADAT-tcn), 2004 International Conference.
- [TON04] Tongia, R. "Can Broadband Over Powerline Carrier (PLC) Compete?. A Techno-Economic Analysis". Telecommunications Policy, 2004, vol.28, n° 7, p. 559-578.
- [ELN05] Elnegaard, N. K., et al. "ECOSYS: Techno-Economics of Integrate Communications SYSTEMS and Services. Deliverable 11: Risk Analysis and Portafolio Optimisation". ECOSYS 2005.
- [MON05] Monath, T. et al. "MUSE- Techno-Economics for Fixed Access Network Evolution Scenarios". Project Deliverable MUSE, DA3.2p, 2005.
- [SAN05] Sananes, R., Bock, C. y Prat, J. "Tecno-Economic Comparision of Optical Access Networks". Transparent Optical Networks, 2005 7th International Conference. IEEE, 2005, vol. 2, p. 201-204.
- [SMU05] Smura, T. "Competitive Potential of Wimax in the Broadband Access Market: A Techno-Economic Analysis". ITS, 2005.
- [TRA05] Tran, A. V., Chae, C.-J. y Tucker, R. S. "Ethernet PON or WDM PON: A Comparision of Cost and Reliability". TENCON 2005. IEEE 2005 Region 10.
- [LAH06] Lähteenoja, M. et al. "ECOSYS: Techno-Economics of Integrated Communication SYSTEM and Services. Delivareble 16: Report onTechno-Economic Methology". ECOSYS, 2006.

- [VAR06] Varoutas, D., et al. "On the Economics of 3G Mobil Virtual Network Operators (MVNOs)". *Wireless Personal Communications*, 2006, vol. 36, nº 2, p. 129-142.
- [VER06] Verbrugge, S. et al. "Methology and Input Availability Parameters for Calculating OpEx and CapEx Costs for Realistic Network Scenarios". *Journal of Optical Networking*, 2006, 5(6), 509-520.
- [AUT07] Autio, T. "Broadcast Mobile Television Servicie in Finland: A Techno-Economic Analisys." Master´s Thesis March 2007. Denmark-Technical and Economic Aspects, 2007.
- [FRA07] Francis, J. C. "Techno-Economic Analysis of the Open Broadband Access Network Wholesale Business Case". *Mobile and Wireless Communications Summit, 2007 16th IST. IEEE*, 2007.
- [GAP07] GAPTEL: "Oportunidades y Desafíos de la Banda Ancha". Coordinador GAPTEL (Grupo Análisis y Prospectiva del Sector de las Telecomunicaciones). Madrid, 2007.
- [HOI07] Hoikkanen, A. "A Techno-Economic Analysis of 3G Long-Term Evolution for Broadband Access". *Telecommunication Techno-Economics*, 2007. CTTE 2007 6th Conference. IEEE, 2007.
- [PER07] Pereira, J. P. R. "A Cost Model for Broadband Access Networks: FTTx Versus WiMAX". *Optics East 2007. International Society for Optics and Photonics*, 2007.
- [PP07] Pereira, J. P. R. y Pires, J. A. "Broadband Access Technologies Evaluation Tool (BATET)". *Technological and Economic Development of Economy*, 2007, vol. 13, nº 4, p. 288-294.
- [SMU07] Smura, T., Kiiski, A. y Hämäinen, H. "Virtual Operators in the Mobile Industry: A Techno-Economic Analysis". *Research and Electronic Networking*, 2007, vol.8, nº1-2, p. 25-48.
- [VAR07] Varoutas, D., et al. "Techno-Economic Evaluation of Optical Access and Metropolitan Area Networks: The Influence of the Status of Maturity of the Photonics Component Industry". *National Fiber Optic Engineers Conference (p. JThA87). Optical Society of America*, 2007
- [CHE08] Chen, J., et al. "Comparision of Hybrid WDM/TDM Passive Optical Networks (PONs) with Protection". *34th European Conference on Optical Communication*, 2008.
- [CHO08] Chowdhury, P., Sarkar, S. y Reaz, A.A. "Comparative Cost Study of Broadband Access Technologies". *International Symposium on Advanced Networks and Telecommunication Systems (ANTS)*, 2008.

- [DAE08] Van Daele, P. "Building the Future Optical Networking Europe". Seventh Framework Programme, D00.1: Project Presentation. 2008. Project Website: <http://www.ict-bone.eu>.
- [MUS08] MUSE: "Multi Access Everywhere". MUSE Project 2008. Project Website: <http://cordis.europa.eu/docs/projects/cnect/5/507295/080/publishing/readmore/MUSE-Overview.pdf>
- [WOS08] Wosinska, L. y Chen, J. "Reliability Performance Analysis vs. Deployment Cost of Fiber Access Network". Optical Internet, 2008. COIN 2008. 7th International Conference. IEEE, 2008.
- [4GB09] "4GBB: 4th Generation BroadBand". 4GBB / CELTIC-PLUS Project 2009. Project Website: <http://www.4gbb.eu>
- [CAS09] Casier, K., "Techno-Economic Evaluation of a Next Generation Access Network Development in a Competitive Setting". PhD Thesis. Ghent University, Belgium, 2009.
- [GHA09] Ghazisaidi, N. y Maier, M. "Fiber-Wireless (Fiwi) Networks: A Comparative Techno-Economic Analysis of Epon and Wimax". Global Telecommunications Conference (GLOBECOM) 2009, IEEE 2009.
- [LAN09] Lannoo, B., et al "Economic Analysis of Future Access Network Deployment and Operation". 11th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON 2009). IEEE, 2009.
- [LOP09] López Bonilla, M., Mosching, E. y Rudge, F. "Techno-Economical Comparison Between GPON and EPON Networks". Innovations for Digital Inclusions (K-IDI) 2009. ITU-T Kaleidoscope. IEEE, 2009.
- [MER09] Van der Merwe, S., et al. "A Model-Based Techno-Economic Comparison of Optical Access Technologies". IEEE Globecom Workshops, 2009.
- [ODL09] Ödling, P., et al. "The Fourth Generation Broadband Concept". Communications Magazine, IEEE 2009, vol. 47, n° 1, p. 62-69.
- [PF09] Pereira, J. P. R. y Ferreira, P. "Access Networks for Mobility a Techno-Economic Model for Broadband Access Technologies". Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks and Communities and Workshops, 2009. TridentCom 2009.
- [VER09] Verbrugge, S. et al. "White Paper: Practical Steps in Techno-Economic Evaluation of Network Deployment Planning". IBCN, Ghent University, Belgium. 2009.

- [WOS09] Wosinska, L., et al. "Impact of Protection Mechanisms on Cost in PONs". Transparent Optical Networks, 2009. ICTON'09. 11th International Conference. IEEE, 2009.
- [ACC10] "ACCORDANCE: Project Presentation". ICT ACCORDANCE Project, 2010. Project Website: <http://www.ict-accordance.eu/Eng>
- [AWA10] "AWARE: Aggregation of WLAN Access Resources". CELTIC-AWARE Project 2010. Project Website: <https://www.celticplus.eu/wp-content/uploads/2014/09/Aware-lq1.pdf>.
- [CAS10] Casier, K., et al. "OASE: Overview of Methods and Tools. Deliverable 5.1". 2010. http://www.ict-oase.eu/public/files/OASE_D5.1_WP5_DTAG_rev2012.pdf
- [CHA10a] Chatzi, S., Lazaro, J. y Tomkos, I. "Techno-Economic Comparison of Current and Next Generation Long Reach Optical Access Networks". Telecommunications Internet and Media Techno Economics (CTTE), 2010 9th Conference. IEEE 2010.
- [CHA10b] Chatzi, S., et al. "A Cuantitative Techno-Economic Comparison of Current and Next Generation Metro/Access Converged Optical Networks". 36th European Conference and Exhibition on Optical Communication (ECOC), 2010.
- [HAR10] Harno, J. "Techno-Economic Valuation of Mobile Communications Scenarios". Doctoral Dissertations 3/2010. Aalto University Publication Series, 2010. Aalto University School of Science and Technology, Finland. ISBN 978-952-60-3332-7.
- [IMO10] "From the Lisbon Strategy to Europe 2020". IMO Project, 2010. http://www1.zagreb.hr/euzg/eu_publikacije/From_the_lisbon_strategy_to_europe_2020.pdf.
- [KAN10] Kantor, M. et al. "General Framework for Techno-Economic Analysis of Next Generation Access Networks". Transparent Optical Networks (ICTON), 2010 12th International Conference. IEEE, 2010.
- [KRI10] Krizanovic, V., Grgic, K. y Zagar, D. "Analyses and Comparisons of Fixed Access Technologies for Rural Broadband Implementation". Information Technology Interfaces (ITI), 2010 32th International Conference. IEEE 2010, p. 483-488.
- [MIT10a] Mitsenkov, A., et al. "Geographic Model for Cost Estimation of FTTH Deployment: Over coming Inaccuracy in Uneven-Populated Areas". Asia Communications and Photonics Conference and Exhibition (ACP). Shanghai, 2010, p. 397-398.

- [MIT10b] Mitchell, M., et al. "Final Report on Integration Activities". Building the Future Optical Network in Europe Project (BONE), 2010. Project Website: http://www.ict-bone.ccaba.upc.edu/portal/landing_pages/bone_deliverables/bone_216863_-_d13-3_-_final_report.pdf
- [POL10] Politi, C., et al. "ICT BONE Views on the Network of the Future: The Role of Optical Networking". Transparent Optical Networks (ICTON), 2010, 12th International Conference. IEEE, 2010.
- [ROK10] Rokkas, T., Katsianis, D. y Varoutas, D. "Techno-Economic Evaluation of FTTC/VDSL and FTTH Roll-Out Scenarios: Discounted Cash Flows and Real Option Valuation". Journal of Optical Communications and Networking, 2010, vol. 2, n° 9, p. 760-772.
- [VER10] Vergara, A., Moral, A y Pérez, J. "COSTA: A Model to Analyze Next Generation Broadband Access Platform Competition". Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium (NETWORKS) 2010 14th International. IEEE 2010.
- [VID10] Vidmar, L., Peternel, B. y Kos, A. "Broadband Access Network Investment Optimization in Rural Areas". MELECOM 2010, 15th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference. IEEE, 2010, p. 482-486.
- [ZAG10] Zagar, D. y Krianovic, V. "Analyses and Comparisons of Technologies for Rural Broadband Implementation". Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM) 2009. 17th International Conference. IEEE 2009, p. 292-296.
- [CVM11] Casier, K., Verbrugge, S. y Machuca, C.M. "Techno-Economic Study of Optical Networks". IEEE Phonic Society (PHO) 24th Annual Meeting, 2011.
- [DIG11] "Pillar 4. Digital Agenda Scoreboard 2011". Digital Agenda for Europe. Project Website: https://ec.europa.eu/digital-agenda/sites/digital-agenda/files/usage_content.pdf
- [FEI11] Feijóo, C., Gómez-Barroso, J.L. y Ramos, S. "An Analysis of Next Generation Access Networks Development in Rural Areas". FITCE Congress (FITCE), 2011. IEEE 2011.
- [HAV11] Havic, Z. y Mikac, B. "Economic Model for FTTH Access Network Desing". Telecommunication, Media and Internet Techno-Economics (CTTE), 2011, 10th Conference. VDE, 2011, p. 1-5.
- [KAT11] Katsigiannis, M. et al. "Quantitative Modeling of Public Local Area Access Value Network Configurations". Telecommunication, Media and Internet Techno-Economics (CTTE), 10th Conference. VDE, 2011, p. 1-9.

- [KRI11] Krizanovic, V., Zagar, D. y Grgic, K. "Techno-Economic Analysis of Wireline and Wireless Broadband Access Networks Deployment in Croatian Rural Areas". Telecommunications (conTEL), 2011 11th International Conference. IEEE, 2011, p. 265-272.
- [LAN11] Lannoo, B., et al. "Selecting the Most Suitable Next-Generation In-Building Network: From Copper-Based to Optical Solutions". Transparent optical Networks (ITCON), 2011 13th International Conference. IEEE, 2011.
- [MAC11] Machuca, C. M., et al. "OASE: Process Modeling and First Version of TCO Evaluation Tool. D5.2". 2011. http://www.ict-oase.eu/public/files/OASE_D5_2_WP5_IBBT_301211_V3_0.pdf.
- [MCF11] Martín, A., Coomonte, R. y Feijóo, C. "Which Could Be The Role of Hybrid Fibre Coax in Next Generation Access Networks?". Telecommunication, Media and Internet Techno-Economics (CTTE). 10th Conference. VDE 2011, p.1-12.
- [MIT11] Mitchell, J. "BONE Major Achievements: WP13 Virtual Centre of Excellence in Access". Building the Future Optical Network in Europe Project (BONE), 2011. Project Website: http://www.ict-bone.ccaba.upc.edu/portal/landing_pages/bone_wp_reports/wp13.pdf.
- [OOT11] Ooteghem, J. V. "Techno-Economic Research for Future Access Infrastructure Networks". Techno-Economic Research for Future Access Infrastructure Networks (iMinds ICON TERRAIN Project), 2011. IBBT, Ghent University.
- [REI11] Reichl, P., et al. "Techno-Economics of Small Cell Networks: The AWARE Project". Network Games, Control and Optimization (NetGCooP), 2011 5th International Conference. IEEE, 2011.
- [TOM11] Tomkos, I. "Techno-Economic Evaluation of NGA Architectures: How Much Does it Cost to Deploy FTTx per Household Passed?". Transparent Optical Networks, 2011, 13th International Conference. IEEE 2011.
- [WEI11] Weis, E., et al. "ACCORDANCE: Benefits and Feasibility. D2.3". ICT ACCORDANCE Project, 2011. Project Website: <http://www.ict-accordance.eu>.
- [BAT12] Battistella, C., et al. "Methodology of Business Ecosystems Network Analysis: A Case Study in Telecom Italia Future Centre". Technological Forecasting and Social Change, 2003, Vol. 80, n° 6, p. 1194-1210.
- [BOZ12] Bozinović, Z., Dizdarević, H. y Dizdarević, S. "Optimal Techno-Economic Selection of the Optical Access Network Topologies".

- MIPRO, 2012 Proceedings of the 35th International Convention. IEEE, 2012, p. 562-567.
- [CON12] "CONTENT: Convergence of Wireless Optical Network and its Resources in Support of Cloud Services". FP7 STREP CONTENT Project 2012. Project Website: <http://content-fp7.eu/index.html>.
- [DRA12] Drago, Z., Visnja, k. y Kresimir, G. "Business Case Assessment of Fixed and Mobile Broadband Access Networks Deployments". The 20th International Conferene on Software, Telecommunications and Computer Networks (softCOM 2012).
- [KRI12] Krizanović, V., Zagar, D. y Martinović, G. "Mobile Broadband Access Networks Planning and Evaluation Using Techno-Economic Criteria". ITI 2012, 34th International Conference on Information Technology Interfaces. IEEE, 2012, p. 281-286.
- [MAC12] Machuca, C. M., et al. "Cost-Based Assessment of NGOA Architectures and its Impact in the Business Model". 11th Conference on Telecommunication , Media and Internet Techno-Economics (CTTE), 2012.
- [NAU12] Naudts, B., et al. "Techno-Ecomic Analysis of Software Defined Networking as Architecture for the Virtualization of a Mobile Network". Software Defined Networking (EWSDN), 2012 European Workshop. IEEE 2012, p. 67-72.
- [RIC12] Ricciardi, S. "GPON and EP2P: A Techno-Economic Study". Networks and Optical Communications (NOC), 2012 17th European Conference. IEEE, 2012.
- [SMU12] Smura, T. "Tecno-Economic Modelling of Wireless Network and Industry Architecture". Doctoral Dissertations, 23/2012. Aalto University Publication Series, 2012. Aalto University School of Science and Technology, Finland. ISBN 978-952-60-4525-2.
- [WG12] Walczyk, K. y Gravey, A. "Techno-Economic Comparision of Next-Generation Access Networks for the French Market". Information and Communication Technologies, 2012, p. 136-147. Springer Berlin Heidelberg.
- [WEE12] Van der Wee, M., et al. "A Modular and Hierarchically Structured Techno-Economic Model for FTTH Deployments. Comparison of Tecnology and Equipment Placement as Function of Population Density and Number of Flexibility Points". 16th International Conference on Optical Network Desing and Modeling (ONDM) 2012. IEEE 2012, p. 1-6.

- [WEI12] Weis, E., Breuer, D. y Lange, C. "Technologies for Next Generation Optical Access". 2012 14th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON).
- [WK12] Westphal, F. J. y Kind, M. "SPARC: WP2-D2.2 Revised Definition of use Cases and Carrier Requirements". SPARC Project: Split Architecture, 2012.
- [COM13] "COMBO: Assessment Framework and Evaluation of State of the Art Technologies. D5.1". Convergence of Fixed and Mobile Broadband Access/Aggregation Networks (COMBO Project). Proyec Website: http://ict-combo.eu/data/uploads/pdf-combo-v2/combo_d5-1.1_wp5_30112013_bme_v1.0_sec.pdf
- [DIS13] The ICT-DISCUS Project 2013. Project Website: <http://www.discus-fp7.eu>
- [KAN13] Kang, D. H., Sung, K. W. y Zander, J. "High Capacity Indoor and Hotspot Wireless System in Shared Spectrum: A Techno-Economic Analysis". Communications Magazine, IEEE 2013, vol. 51, nº 12, p. 102-109.
- [KAT13] Katsigiannis, M., et al. "Techno-Economic Modeling of Value Network Configurations for Public Wireless Local Area Access". NETNOMICS: Economic Research and Electronic Networking, 2013, vol. 14, nº 1-2, p. 27-46.
- [MAC13a] Machuca, C. M., et al. "OASE: Techno-Economic Assessment Studies. D5.3". 2013. http://www.ict-oase.eu/public/files/OASE_D5.3_WP5_TUM_220113v1.0.pdf.
- [MAC13b] Machuca, C. M., et al. "Methology for a Cost Evaluation of Migration Toward NGOA Networks". Optical Communications and Networking, IEEE/OSA 2013, vol. 5, nº 12, p. 1456-1466.
- [MIT13] Mitsenkov, A., et al. "Geometric versus Geographic Models for the Estimation of an FTTH Deployment". Telecommunication Systems, 2013, vol. 54, nº 2, p.113-127.
- [OAS13] OASE: "Optical Access Seamless Evolution". OASE Project 2013. Project Website: <http://www.ict-oase.eu>
- [PEC13] Pecur, D. "Techno-Economic Analysis of Long Tailed Hybrid Fixed-Wireless Access". Telecommunications (ConTEL), 2013 12th International Conference. IEEE 2013, p. 191-198.
- [PHI13] Phillipson, F., Smit-Rietveld, C. y Verhagen, P. "Fourth Generation Broadboard Delivered By Hybrid FttH Solution-A Techno-Economic Study". Journal of Optical Communications and Networking, 2013, vol. 5, nº 11, p. 1328-1342.

- [SHA13] Sharma, S., et al. "OpenFlow: Meeting Carrier-Grade Requirements". Computer Communications, 2013, vol. 36, nº 6, p. 656-665.
- [SIL13] Silveirinha, H. y De Oliveira, A. M. "FTTH-GPON Access Networks: Dimensioning and Optimization". 12st Telecommunications Forum Telfor, 2013 (TELFOR).
- [TS13] Tiantong, L. y Saivichit, C. "A Proposed Network Economic Strategic Model for FTTH Access Network". Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2013 10th International Conference. IEEE, 2013.
- [UNI13] "Approach UNIFY: Overview". UNIFY Project 2013. Project Website: <https://www.fp7-unify.eu/index.php/approach-8.html>.
- [5GP14] "5G Infraestructure Public Private Partnership (5G PPP)", 2014. <https://5g-ppp.eu>
- [BOC14] Bock, C., et al. "Techno-Economics and Performance of Convergent Radio and Fibre Architectures". Transparent Optical Networks (ITCON), 2014 16th International Conference. IEEE, 2014.
- [CAS14] Casier, K, Van der Wee, M. y Verbrugge, S. "Cost Evaluation of Innovative offers using detailed Equipment, Process and Network Modelling Languages". Transparent Optical Networks (ICTON), 2014 16th International Conference. IEEE, 2014.
- [ITU14] "ITU-T: G.Fast Broadband Standad Approved and on the Market". ITU, 2014. Website: http://www.itu.int/net/pressoffice/press_releases/2014/70.aspx#.Vn2oMEr2GrU.
- [MZ14] Moreira, L. y Zucchi, W. L. "Techno-Economic Evaluation of Wireless Access Technologies for Campi Network Environments". Telecommunications Symposium (ITS), 2014 International. IEEE, 2014.
- [ROM14] Romero, R. R., Zhao, R. y Machuca C. M. "Advanced Dynamic Migration Planning Toward FTTH". Communications Magazine, IEEE 2014, vol. 52, nº 1, p. 77-83.
- [RUF14] Ruffini, M., et al. "DISCUS: An End-to-End Solution for Ubiquitous Broadband Optical Access". Communications Magazine, IEEE, 2014, vol. 52, nº 2, p.S24-S32.
- [WEE14] Van der Wee, M., et al. "Evaluation of the Techno-Economic Viability of Point-to-Point Dark Fiber Access Infrastructure in Europe". Journal of Optical Communications and Networking, IEE/OSA, vol. 6, issue 3, p. 238-249, March 2014.

- [WIA14] Wiatr, P., et al. "Energy Efficiency and Reliability Tradeoff in Optical Core Networks". Optical Fiber Communication Conference. Optical Society of America, 2014, p. Th4E-4.
- [ZUK14] Zukowski, C., Payne, D. B. y Ruffini, M. "Modelling Accurate Planning of PON Networks to Reduce Initial Investment in Rural Areas". Optical Network Desing and Modeling, 2014 International Conference. IEEE, 2014, p. 138-143.
- [DIG15] Digital Agenda for Europe 2020. "Fast and Ultra-Fast Internet Access". <https://ec.europa.eu/digital-agenda/sites/digital-agenda/files/KKAH12001ENN-chap3-PDFWEB-3.pdf>. (2015).
- [FOR15] Forzati, M., et al. "Next Generation Optical Access Seamless Evolution: Concluding Results of the European FP7 Project OASE". Journal of Optical Communications and Networking, 2015, vol. 7, nº 2, p. 109-123.
- [GOL15] "GOLD: Gigabits Over the Legacy Drop". 4GBB GOLD Project, CELTIC-Plus, 2015. Project Website: <http://4gbb.eu/index.php/gold-project>.
- [HER15] Hernandez-Valencia, E., Izzo, S. y Polonsky, B. "How Will NFV/SDN Transform Service Provider Opex?". Network, IEEE, 2015, vol. 29, nº 3, p. 60-67.
- [KS15] Katsigiannis, M. y Smura, T. "A Cost Model for Radio Access Data Networks". Info 2015, vol. 17, iss. 1, p. 39-53.
- [MAS15a] "Analysys Mason Multiplay Pricing Benchmark 2Q 2015". Analysys Mason Limited, London 2015.
- [MAS15b] "Analysys Mason Western Europe Telecoms Forecast". Analysys Mason Limited, London 2015.
- [NW15] Nicoll, C. y Wood, R. "Connected TV and 4K Video Are Driving Next-Generation Fixed Access Investment". Analysys Mason Limited, London, 2015.
- [OVU15a] "Ovum Market Share Spreadsheet 1Q15 FTTx DSL and CMTS Revenues". OVUM, 2015.
- [OVU15b] "Ovum Market Share Spreadsheet 1Q15 FTTx DSL and CMTS Units". OVUM, 2015.
- [WEE15] Van der Wee, M., et al. "Techno-Economic Evaluation of Open Access on FTTH Networks". Optical Communications and Networking. IEE/OSA Journal of, 2015, vol. 7, nº 5, p. 433-444.