

# Estudio de Nuevas Tecnologías (WIMAX, FSO, HAPS y UWB)

---

Análisis para el Fortalecimiento del Marco  
Regulatorio del Sector de Telecomunicaciones  
INFORME FINAL



**R&M International Consulting Group Ltd**  
*Engineering, Regulation & Business*

Septiembre 2004

## **AUTORES:**

### **Consultora:**

R&M International Consulting Group Ltd. Engineering, Regulation & Business

### **Coordinador del Estudio:**

Iván Ramírez Ayala, Ing. Civil Electricista, PhD (c), M. Sc.

### **Equipo de Trabajo:**

Iván Ramírez Ayala, Ing. Civil Electricista, PhD (c), M. Sc.

Darío Ramírez Ayala, Ing. Civil Electricista, MBA

Francisco Zúñiga Arteaga, Ing. Civil Electrónico

Mauricio Nuñez Toro, Ing. de Ejecución en Electricidad

## INDICE

|                                                                                           |                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| <b>RESUMEN EJECUTIVO</b>                                                                  | <b><u>9</u></b>  |
| <b>I. INTRODUCCION</b>                                                                    | <b><u>12</u></b> |
| <b>II. OBJETIVOS DEL ESTUDIO</b>                                                          | <b><u>12</u></b> |
| <b>III. MARCO DE REFERENCIA</b>                                                           | <b><u>13</u></b> |
| <b>A. <u>Análisis Técnico</u></b>                                                         | <b><u>13</u></b> |
| <b>A.1 Tecnología WiMax (Worldwide Interoperability<br/>        for Microwave Access)</b> | <b><u>13</u></b> |
| <b>Resumen</b>                                                                            | <b><u>13</u></b> |
| <b>A.1.1 Introducción a WiMax</b>                                                         | <b><u>14</u></b> |
| <b>A.1.2 Principio de Funcionamiento de la Tecnología WiMax</b>                           | <b><u>17</u></b> |
| <b>A.1.3 Especificaciones del estándar IEEE 802.16</b>                                    | <b><u>18</u></b> |
| <b>A.1.3.1 Cobertura</b>                                                                  | <b><u>19</u></b> |
| <b>A.1.3.2 Calidad de Servicio (QoS)</b>                                                  | <b><u>20</u></b> |
| <b>A.1.4 WiMAX, la Capa Física del estándar IEEE 802.16a</b>                              | <b><u>21</u></b> |
| <b>A.1.4.1 OFDM PHY en el estándar 802.16a</b>                                            | <b><u>22</u></b> |
| <b>A.1.4.2 Diagrama en Bloque del demodulador OFDM</b>                                    | <b><u>23</u></b> |
| <b>A.1.5 Wi Max Forum</b>                                                                 | <b><u>31</u></b> |
| <b>A.1.6 Estándares Presentes en la Tecnología</b>                                        | <b><u>32</u></b> |
| <b>A.1.7 Roadmap de la Tecnología</b>                                                     | <b><u>33</u></b> |
| <b>A.1.8 Comparación con otros estándares 802.XX</b>                                      | <b><u>34</u></b> |
| <b>A.1.9 Canalización aplicable a sistemas entre 2 y 11 GHz</b>                           | <b><u>37</u></b> |
| <b>A.1.10 Estándares adoptados</b>                                                        | <b><u>40</u></b> |
| <b>A.1.11 Aplicaciones y Servicios</b>                                                    | <b><u>41</u></b> |
| <b>A.1.11.1 Plataformas en las que puede trabajar</b>                                     | <b><u>41</u></b> |
| <b>A.1.12 Principales Fabricantes</b>                                                     | <b><u>44</u></b> |

|                                                                               |                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| <b>A.1.13 Costos Referenciales y Proyectos WiMax</b>                          | <b><u><a href="#">44</a></u></b> |
| <b>A.1.14 Conclusiones WiMax</b>                                              | <b><u><a href="#">46</a></u></b> |
| <b>A.2 Tecnología FSO (Free Space Optics)</b>                                 | <b><u><a href="#">48</a></u></b> |
| <b>Resumen</b>                                                                | <b><u><a href="#">48</a></u></b> |
| <b>A.2.1 Introducción a FSO</b>                                               | <b><u><a href="#">48</a></u></b> |
| <b>A.2.2 Historia de los Sistemas Free Space Optics</b>                       | <b><u><a href="#">50</a></u></b> |
| <b>A.2.3 Principio de Funcionamiento de la Tecnología FSO</b>                 | <b><u><a href="#">50</a></u></b> |
| <b>A.2.4 Diagrama en Bloques del sistema FSO</b>                              | <b><u><a href="#">52</a></u></b> |
| <b>A.2.5 Características Técnicas Generales del sistema FSO</b>               | <b><u><a href="#">52</a></u></b> |
| A.2.5.1 Solución Híbrida Radio-FSO (HFR)                                      | <u><a href="#">52</a></u>        |
| A.2.5.2 Limitaciones de Alcance en FSO                                        | <u><a href="#">52</a></u>        |
| A.2.5.3 Atenuación por lluvia en 60 GHz                                       | <u><a href="#">54</a></u>        |
| A.2.5.4 Neblina, Smog y FSO                                                   | <u><a href="#">56</a></u>        |
| A.2.5.5 Estabilidad de Instalaciones FSO,<br>Movimiento de Edificios y Torres | <u><a href="#">56</a></u>        |
| A.2.5.6 Interferencia Solar y los sistemas FSO                                | <u><a href="#">57</a></u>        |
| A.2.5.7 Confiabilidad de los Sistemas FSO                                     | <u><a href="#">58</a></u>        |
| A.2.5.8 Longitud de Onda de Transmisión                                       | <u><a href="#">61</a></u>        |
| A.2.5.9 Alineación Fija o Activa                                              | <u><a href="#">62</a></u>        |
| <b>A.2.6 Aplicaciones</b>                                                     | <b><u><a href="#">63</a></u></b> |
| A.2.6.1 ¿Cuándo utilizar FSO?                                                 | <u><a href="#">64</a></u>        |
| <b>A.2.7 Fabricantes</b>                                                      | <b><u><a href="#">65</a></u></b> |
| A.2.7.1 Alcatel                                                               | <u><a href="#">65</a></u>        |
| A.2.7.1.1 FSO orientado a tecnologías PDH                                     | <u><a href="#">65</a></u>        |
| A.2.7.1.2 FSO orientado a tecnologías SDH                                     | <u><a href="#">68</a></u>        |
| A.2.7.2 LaserBit Communications                                               | <u><a href="#">70</a></u>        |
| A.2.7.2.1 Características Importantes                                         | <u><a href="#">70</a></u>        |
| A.2.7.2.2 Protocolos – PDH                                                    | <u><a href="#">71</a></u>        |
| A.2.7.2.3 Protocolos - SDH/SONET                                              | <u><a href="#">71</a></u>        |
| A.2.7.2.4 Protocolos – Ethernet                                               | <u><a href="#">71</a></u>        |
| A.2.7.3 fSONA Communications                                                  | <u><a href="#">72</a></u>        |
| A.2.7.3.1 Serie M                                                             | <u><a href="#">72</a></u>        |
| A.2.7.3.2 Serie S                                                             | <u><a href="#">72</a></u>        |
| A.2.7.3.3 Serie E                                                             | <u><a href="#">72</a></u>        |
| A.2.7.4 Mercury Networks                                                      | <u><a href="#">74</a></u>        |
| A.2.7.4.1 Familia TereScope™                                                  | <u><a href="#">74</a></u>        |



|                                                                            |                            |
|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| A.2.7.5 Otros Empresas con aplicaciones FSO                                | <a href="#"><u>76</u></a>  |
| A.2.8 Comparación de FSO entre fabricantes.                                | <a href="#"><u>76</u></a>  |
| A.2.8.1 Materiales Utilizados en el Transmisor y Receptor                  | <a href="#"><u>77</u></a>  |
| A.2.8.2 Especificaciones de los Productos                                  | <a href="#"><u>78</u></a>  |
| A.2.8.3 Efectos Atmosféricos                                               | <a href="#"><u>78</u></a>  |
| <br>A.2.9 Cuadro comparativo de tecnologías                                | <a href="#"><u>79</u></a>  |
| <br>A.2.10 Costos Referenciales                                            | <a href="#"><u>80</u></a>  |
| <br>A.2.11 Conclusiones FSO                                                | <a href="#"><u>81</u></a>  |
| <br>A.3 Tecnología HAPS (High Altitude Platform Stations)                  | <a href="#"><u>82</u></a>  |
| <br>Resumen                                                                | <a href="#"><u>82</u></a>  |
| <br>A.3.1 Introducción a HAPS                                              | <a href="#"><u>83</u></a>  |
| <br>A.3.2 Principio de Funcionamiento de la solución HAPS                  | <a href="#"><u>86</u></a>  |
| <br>A.3.3 Ubicación en el Espectro de Frecuencia                           | <a href="#"><u>89</u></a>  |
| <br>A.3.4 Tipos de HAPS                                                    | <a href="#"><u>92</u></a>  |
| A.3.4.1 Globos                                                             | <a href="#"><u>92</u></a>  |
| A.3.4.2 Dirigibles HAPS                                                    | <a href="#"><u>94</u></a>  |
| A.3.4.3 Aeroplanos HAPS                                                    | <a href="#"><u>95</u></a>  |
| A.3.4.4 Otras Plataformas Aéreas                                           | <a href="#"><u>97</u></a>  |
| <br>A.3.5 Aplicación en las Comunicaciones                                 | <a href="#"><u>97</u></a>  |
| A.3.5.1 Aplicaciones de Acceso con Banda Ancha Inalámbrica                 | <a href="#"><u>99</u></a>  |
| A.3.5.2 Aplicaciones 2G/3G                                                 | <a href="#"><u>100</u></a> |
| A.3.5.3 Redes HAPS                                                         | <a href="#"><u>100</u></a> |
| A.3.5.4 Utilización de HAPS para la comunicación de grandes Empresas       | <a href="#"><u>101</u></a> |
| A.3.5.5 Utilización de HAPS en eventos y servicios de emergencia           | <a href="#"><u>102</u></a> |
| A.3.5.6 Comunicaciones Militares                                           | <a href="#"><u>102</u></a> |
| <br>A.3.6 Algunos Proyectos Existentes                                     | <a href="#"><u>102</u></a> |
| <br>A.3.7 Ventajas y Características de las comunicaciones utilizando HAPS | <a href="#"><u>106</u></a> |
| <br>A.3.8 Costos Estimados                                                 | <a href="#"><u>108</u></a> |
| <br>A.3.9 Retos y Desafíos                                                 | <a href="#"><u>108</u></a> |

|                                                           |                            |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------|
| A.3.9.1 Niveles de Requerimientos del Sistema             | <a href="#"><u>108</u></a> |
| A.3.9.2 Propagación y Diversidad                          | <a href="#"><u>109</u></a> |
| A.3.9.3 Modulación y Codificación                         | <a href="#"><u>110</u></a> |
| A.3.9.4 Asignación de Recurso y Protocolos de Red         | <a href="#"><u>111</u></a> |
| A.3.9.5 Antenas                                           | <a href="#"><u>111</u></a> |
| A.3.9.6 Ubicación y Estabilidad de la Plataforma          | <a href="#"><u>111</u></a> |
| A.3.9.7 Handoff                                           | <a href="#"><u>112</u></a> |
| A.3.9.8 ¿Las Antenas en Tierra deben ser Móviles o Fijas? | <a href="#"><u>112</u></a> |
| A.3.9.9 Requerimientos Energéticos                        | <a href="#"><u>112</u></a> |
| A.3.10 Conclusiones HAPS                                  | <a href="#"><u>114</u></a> |
| A.4 Tecnología UWB (Ultra Wideband)                       | <a href="#"><u>116</u></a> |
| Resumen                                                   | <a href="#"><u>116</u></a> |
| A.4.1 Introduccion UWB                                    | <a href="#"><u>116</u></a> |
| A.4.2 ¿Qué es la tecnología Ultra Wideband?               | <a href="#"><u>117</u></a> |
| A.4.3 ¿Cuándo fue inventada la UWB?                       | <a href="#"><u>117</u></a> |
| A.4.4 Principio de Funcionamiento                         | <a href="#"><u>118</u></a> |
| A.4.5 Características Técnicas                            | <a href="#"><u>119</u></a> |
| A.4.5.1 Diagrama de Bloques del Transceptor de Radio      | <a href="#"><u>120</u></a> |
| A.4.5.2 Pulsos, tren de pulsos y modulación PPM           | <a href="#"><u>120</u></a> |
| A.4.5.3 Generación de la señal DS-UWB                     | <a href="#"><u>121</u></a> |
| A.4.5.3.1 Bandas de Operación de DS-UWB                   | <a href="#"><u>121</u></a> |
| A.4.5.4 Diagrama en bloques del Transmisor DS-UWB         | <a href="#"><u>122</u></a> |
| A.4.5.4.1 Tasas de Datos Soportados por DS-UWB            | <a href="#"><u>122</u></a> |
| A.4.6 Aspectos Regulatorios                               | <a href="#"><u>123</u></a> |
| A.4.6.1 Espectro de Frecuencias                           | <a href="#"><u>124</u></a> |
| A.4.6.2 Canalización o "múltiples pico redes"<br>con UWB  | <a href="#"><u>128</u></a> |
| A.4.6.3 Compartición del canal de RF en UWB               | <a href="#"><u>128</u></a> |
| A.4.7 Ventajas y aplicabilidad de la UWB                  | <a href="#"><u>129</u></a> |
| A.4.7.1 Ventajas                                          | <a href="#"><u>130</u></a> |
| A.4.7.2 Desventajas                                       | <a href="#"><u>130</u></a> |
| A.4.8 Facilidades y Características de UWB                | <a href="#"><u>131</u></a> |
| A.4.8.1 Aplicabilidad                                     | <a href="#"><u>131</u></a> |
| A.4.9 UWB Forum                                           | <a href="#"><u>132</u></a> |

|                                                                         |                            |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| A.4.10 Estándares Presentes en la Tecnología UWB                        | <a href="#"><u>134</u></a> |
| A.4.10.1 Estado actual de UWB en la Federal Communications Commission   | <a href="#"><u>135</u></a> |
| A.4.11 Costos                                                           | <a href="#"><u>135</u></a> |
| A.4.12 Conclusiones UWB                                                 | <a href="#"><u>135</u></a> |
| <b>B. <a href="#"><u>Análisis Reglamentario y Normativo</u></a></b>     | <a href="#"><u>137</u></a> |
| Resumen                                                                 | <a href="#"><u>137</u></a> |
| B.1 Situación Actual y Futura de las Tecnologías WiMax, FSO, HAPS y UWB | <a href="#"><u>138</u></a> |
| B.1.1 WiMax                                                             | <a href="#"><u>139</u></a> |
| B.1.1.1 Situación Internacional                                         | <a href="#"><u>139</u></a> |
| B.1.1.2 Documentación WiMax                                             | <a href="#"><u>140</u></a> |
| B.1.2. FSO                                                              | <a href="#"><u>140</u></a> |
| B.1.2.1 Situación Internacional                                         | <a href="#"><u>140</u></a> |
| B.1.2.2 Documentación FSO                                               | <a href="#"><u>141</u></a> |
| B.1.3 HAPS                                                              | <a href="#"><u>141</u></a> |
| B.1.3.1 Situación Internacional                                         | <a href="#"><u>141</u></a> |
| B.1.3.1.1 Banda de 2,1 GHz IMT-2000                                     | <a href="#"><u>142</u></a> |
| B.1.3.1.2 Banda de 27/28 & 31GHz                                        | <a href="#"><u>142</u></a> |
| B.1.3.1.3 Banda de 47/48 GHz                                            | <a href="#"><u>142</u></a> |
| B.1.3.2 Documentación HAPS                                              | <a href="#"><u>143</u></a> |
| B.1.4 UWB                                                               | <a href="#"><u>143</u></a> |
| B.1.4.1 Situación Internacional                                         | <a href="#"><u>143</u></a> |
| B.1.4.2 Documentación UWB                                               | <a href="#"><u>145</u></a> |
| B 1.5 Conclusiones                                                      | <a href="#"><u>146</u></a> |
| <b>C. <a href="#"><u>Propuesta de Servicios</u></a></b>                 | <a href="#"><u>147</u></a> |
| C.1 Autorización de las Frecuencias Asociadas a WiMax, FSO, HAPS y UWB  | <a href="#"><u>147</u></a> |
| C.2 Propuesta de regulación para WiMax                                  | <a href="#"><u>148</u></a> |
| C.2.1 Regulación del Espectro de Frecuencias WiMax                      | <a href="#"><u>149</u></a> |
| C.2.2 Regulación de los Servicios ofrecidos utilizando WiMax            | <a href="#"><u>149</u></a> |
| C.2.3 Oportunidad de Regular WiMax                                      | <a href="#"><u>150</u></a> |

|                                                             |                                   |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>C.3 Propuesta de regulación para FSO</b>                 | <b><a href="#"><u>151</u></a></b> |
| C.3.1 Regulación del Espectro de Frecuencias FSO            | <a href="#"><u>151</u></a>        |
| C.3.2 Regulación de los Servicios ofrecidos utilizando FSO  | <a href="#"><u>151</u></a>        |
| C.3.3 Oportunidad de Regular FSO                            | <a href="#"><u>151</u></a>        |
| <b>C.4 Propuesta de regulación para HAPS</b>                | <b><a href="#"><u>152</u></a></b> |
| C.4.1 Regulación del Espectro de Frecuencias HAPS           | <a href="#"><u>152</u></a>        |
| C.4.2 Regulación de los Servicios ofrecidos utilizando HAPS | <a href="#"><u>153</u></a>        |
| C.4.3 Oportunidad de Regular HAPS                           | <a href="#"><u>153</u></a>        |
| <b>C.5 Propuesta de regulación para UWB</b>                 | <b><a href="#"><u>154</u></a></b> |
| C.5.1 Regulación del Espectro de Frecuencias UWB            | <a href="#"><u>154</u></a>        |
| C.5.2 Regulación de los Servicios ofrecidos utilizando UWB  | <a href="#"><u>154</u></a>        |
| C.5.3 Oportunidad de Regular UWB                            | <a href="#"><u>155</u></a>        |
| <b>C.6 Conclusiones</b>                                     | <b><a href="#"><u>156</u></a></b> |
| <b>IV. CONCLUSIONES</b>                                     | <b><a href="#"><u>157</u></a></b> |
| <b>V. BIBLIOGRAFIA</b>                                      | <b><a href="#"><u>161</u></a></b> |
| <b>VI. ACRONIMOS</b>                                        | <b><a href="#"><u>166</u></a></b> |
| <b>VII. ANEXOS</b>                                          | <b><a href="#"><u>171</u></a></b> |

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe, se refiere al desarrollo y cumplimiento de lo dispuesto en los Puntos 1, 2 y 3 de la Cláusula Segunda del contrato correspondiente al **Estudio de Nuevas Tecnologías (WiMax, UWB, FSO y HAPS)**, solicitado por la Subsecretaría de Telecomunicaciones mediante los Términos de Referencia respectivos, los cuales se refieren a:

1. “Elaborar un informe que contenga aspectos técnicos tales como, principio de funcionamiento, diagrama en bloques de los sistemas, tipos de prestaciones que se puede ofrecer (video, datos, telefonía, etc.), bandas de frecuencias y sus canalizaciones, capacidad de compartir frecuencias, separación mínima entre portadoras y separación entre frecuencias de transmisión y recepción. Además, se deberá incluir información respecto a los estándares adoptados, fabricantes de equipos y sus costos.”
2. “Elaborar un informe que contenga un análisis de la situación actual y futuro desarrollo de las tecnologías a nivel internacional, adjuntando documentación de tipo reglamentario y normativo vigente sobre la materia en otros países.”
3. “Elaborar una propuesta fundamentada respecto del tipo de servicio (limitado, público o intermedio), con que se podrían introducir estas tecnologías en nuestro país. Asimismo, deberá efectuar un análisis respecto de la oportunidad de regular sobre la materia”.

Como una breve introducción a las materias en estudio, se entenderán los siguientes conceptos técnicos aplicables a lo largo del desarrollo de esta investigación:

**WiMax** o Worldwide Interoperability for Microwave Access, es un estándar que define una red metropolitana de banda ancha inalámbrica (WMAN), que es una especie de gigantesco “Hot Spot” que permite la conexión sin línea de vista, presentándose así como una alternativa de conexión “fija” al cable y al ADSL para los usuarios residenciales, siendo por lo tanto, una posible red de transporte para los “Hot Spot” Wi-Fi y una solución para implementar plataformas empresariales de banda ancha.

**FSO** o Free Space Optics, también llamado acceso inalámbrico óptico, puede ser pensado como un sistema inalámbrico que utiliza luz infrarroja en vez de ondas de radio, o como un sistema de comunicación óptico que transmite luz láser punto a punto a través del aire, en vez de transmitir a través de una fibra óptica.

**HAPS** o High-Altitude Platform Stations, son plataformas estratosféricas, situadas alrededor de 22 kilómetros de altura sobre la tierra, siendo capaces de proporcionar una cobertura del orden de los 500 kilómetros o superior. Una sola

HAP puede reemplazar a un gran número de antenas terrestres, con sus respectivos costos asociados e impacto ambiental.

**UWB** o Ultra WideBand, es una revolucionaria tecnología inalámbrica para la transmisión de datos en forma digital, sobre un espectro ensanchado en bandas de frecuencias con muy baja potencia. De esta manera, se puede obtener una alta tasa de transferencia para aplicaciones de redes inalámbricas de área local.

Con respecto al [Punto 1](#) solicitado en los Términos de Referencia, los resultados de la investigación tecnológica muestran las facilidades y atributos técnicos que poseen estas tecnologías, lo cual permite comprender la forma técnica de su operación, los tipos de topologías y arquitecturas de red factibles de utilizar, la utilización del espectro de radio frecuencias, las fortalezas, beneficios y servicios que ofrecerán al usuario en general. Estas características técnicas asociadas a cada una de las tecnologías mencionadas, se relacionan con las facilidades que ellas podrán ofrecer como redes de acceso hasta los usuarios finales, para su utilización en servicios de Banda Ancha y comunicaciones hacia las zonas aisladas de nuestro país.

Con relación al [Punto 2](#), la situación regulatoria actual y futura internacional relacionada con las tecnologías **WiMax**, **FSO**, **HAPS** y **UWB**, aún se observa en un constante desarrollo y trabajo por los cuerpos estandarizadores, con el fin de permitir la utilización y comercialización de estas soluciones de Nuevas Tecnologías, no existiendo regulaciones ni recomendaciones internacionales claras que permitan decidir la mejor alternativa para impulsar alguna de estas iniciativas.

Sin embargo, la aplicación más cercana a la realidad chilena con necesidades regulatorias a materializar en el breve plazo, es la orientada a la utilización de **WiMax**.

Con respecto a **FSO**, en el estudio realizado con información tanto de fabricantes de equipos como de organismos reguladores a nivel mundial, no se observa necesidades regulatorias, excepto en lo relativo a la instalación operación y explotación de los equipos de telecomunicaciones. Las tecnologías **HAPS** y **UWB**, aún están en proceso de optimización de su performance, por lo que es necesario estar atento y realizar el seguimiento de las recomendaciones respectivas provenientes particularmente de la ITU.

Considerando los análisis solicitados y desarrollados durante este trabajo para lograr el objetivo del [Punto 3](#), y por otra parte, considerando que para **WiMax** no existen propuestas técnicas que permitan compartición de frecuencias, se sugiere la asignación de espectro de frecuencias por **Concurso Público**.

En cuanto a la instalación operación y explotación de equipos de telecomunicaciones con tecnología WiMax, ella puede ser autorizada como un **Servicio Público de Telecomunicaciones, Servicio Intermedio o Servicio**

**Limitado**, dependiendo de las necesidades del solicitante, siendo necesario preparar la normativa correspondiente tan pronto como sea posible.

Para el caso **FSO**, se recomienda que esta tecnología **quede exenta** de alguna regulación en cuanto al **uso del espectro** dadas las características técnicas de transmisión la cual se realiza con luz infrarroja. La tecnología de Ondas Milimétricas a 60 GHz es no licenciada en los países desarrollados, debido a la absorción del oxígeno, y es capaz de ofrecer mayor capacidad que las frecuencias a longitudes de onda mas largas.

En cuanto a la utilización de estos equipos y considerando la Normativa Técnica vigente, se sugiere autorizar las instalaciones de acuerdo a lo solicitado por cada peticionario.

En relación a la implementación de redes y servicios utilizando **HAPS** en Chile, se concluye que esta tecnología está aun en etapa de definiciones por lo cual se recomienda un seguimiento a la espera de estandarizaciones internacionales. Si se mantienen las condiciones conocidas hasta ahora, se recomienda asignar el espectro por **Concurso Público** (banda 2,1 GHz) o por solicitud de un peticionario de acuerdo a un Proyecto Técnico de respaldo. En estas condiciones el servicio podría ser autorizado como **Servicio Público o Servicio Intermedio de Telecomunicaciones**.

Finalmente para la tecnología **UWB**, se sugiere establecer las condiciones jurídicas en el contexto de la Normativa Técnica vigente, para que su despliegue esté sujeto a condiciones similares a lo que hoy es el uso de teléfonos inalámbricos domésticos, debido a que UWB opera a través de un amplio rango del espectro de frecuencias transmitiendo una serie de pulsos extremadamente angostos (10 a 1000 pulsos por segundos) y una muy baja potencia.

UWB está asociado al estándar del IEEE 802.15.3 para tasas de datos de alta velocidad usado en WPAN el cual es diseñado para proveer Calidad de Servicio (QoS) y distribución de tiempo real del contenido de multimedia, tal como el video y la música. Este es un paquete ideal para una red inalámbrica multimedial para los hogares.

Respecto a la compartición de espectro en UWB, existe una propuesta que lo permite, pero ésta no ha sido validada aún por los organismos reguladores internacionales.

En el ámbito de aplicaciones con acceso a redes públicas se recomienda utilizar una autorización de **Servicio Limitado de Telecomunicaciones**.

## I. INTRODUCCION

El estudio está dividido en tres partes. En primer lugar, se realiza una investigación de las facilidades y atributos técnicos que poseen estas tecnologías, lo cual permitirá comprender la forma técnica de su operación, los tipos de topologías y arquitecturas de red factibles de utilizar, la utilización del espectro de radio frecuencias, las fortalezas, beneficios y servicios que ofrecerán al usuario en general.

La segunda investigación tiene relación con la situación actual y futuro desarrollo de estas tecnologías a nivel internacional, considerando los procesos regulatorios o normativos que están actualmente en elaboración en los diferentes cuerpos reguladores internacionales, con el fin de clarificar la situación normativa nacional y si es o no el momento de regularlas.

La tercera parte del estudio, considera los resultados de las investigaciones anteriormente mencionadas, con el propósito de elaborar una propuesta para Subtel, tendiente a clasificar los tipos de servicios asociados a cada una de estas tecnologías y las alternativas para realizar una eventual concesión de ellas de acuerdo con las leyes y reglamentos vigentes aplicables en Chile.

## II. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Los objetivos del presente informe, se refieren al desarrollo y cumplimiento de lo dispuesto en los Puntos 1, 2 y 3 de la Cláusula Segunda del contrato correspondiente al **Estudio de Nuevas Tecnologías (WiMax, UWB, FSO y HAPS)**, solicitado por la Subsecretaría de Telecomunicaciones, los cuales se refieren a:

**Punto 1:** “Elaborar un informe que contenga aspectos técnicos tales como, principio de funcionamiento, diagrama en bloques de los sistemas, tipos de prestaciones que se puede ofrecer (video, datos, telefonía, etc.), bandas de frecuencias y sus canalizaciones, capacidad de compartir frecuencias, separación mínima entre portadoras y separación entre frecuencias de transmisión y recepción. Además, se deberá incluir información respecto a los estándares adoptados, fabricantes de equipos y sus costos.”

**Punto 2:** “Elaborar un informe que contenga un análisis de la situación actual y futuro desarrollo de las tecnologías a nivel internacional, adjuntando documentación de tipo reglamentario y normativo vigente sobre la materia en otros países.”

**Punto 3:** “Elaborar una propuesta fundamentada respecto del tipo de servicio (limitado, público o intermedio), con que se podrían introducir estas tecnologías en



nuestro país. Asimismo, deberá efectuar un análisis respecto de la oportunidad de regular sobre la materia”.

### **III. MARCO DE REFERENCIA**

El marco de referencia para este trabajo está relacionado en primer lugar con el estudio de la aplicabilidad de las tecnologías, realizando un análisis técnico de, WiMax, FSO, HAPS y UWB de acuerdo con los parámetros solicitados en los Términos de Referencia (apartado **A: [Análisis Técnico](#)**)

En segundo lugar, investigar la situación actual y futura de éstas tecnologías incorporando la documentación regulatoria existente en otros países o referenciando la información para su profundización posterior, mediante la utilización de las páginas Web correspondientes (apartado **B: [Análisis Reglamentario y Normativo](#)**)

Finalmente, se realiza un análisis de la información indicada en los puntos anteriores, con el fin de realizar una propuesta acerca del tipo de servicio aplicable a Chile, relacionando cada una de las tecnologías solicitadas y la oportunidad de regularlas en nuestro país (apartado **C: [Propuesta de Servicios](#)**)

#### **[A. Análisis Técnico](#)**

##### **A.1 Tecnología WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access)**

###### **Resumen**

El sistema WiFi, el cual permite la creación de redes de trabajo sin cables, se estima que será reemplazado por el WiMax logrando con esto, grandes avances técnicos en velocidad, alcance e interoperabilidad.

Mientras el alcance de una señal WiFi es de unos 30 a 100 metros, la tecnología WiMax puede llegar a los 50 kilómetros. Además, su rendimiento, ha sido planificado para varios miles de usuarios conectados simultáneamente, lo que es especialmente elevado.

La tecnología WiMax fue concebida, desde el principio, para convertirse en la red estándar a nivel internacional logrando una compatibilidad total. Por esta razón, se estima que las redes WiMax deberían ser compatibles con aquellas desplegadas tanto en Estados Unidos como en Europa.

Cabe señalar, que inicialmente las aplicaciones de redes WiFi no fueron compatibles entre ellas, como ha sido esta planificación con WiMax. Esta compatibilidad permitirá que en el futuro, los usuarios que cuenten con este tipo de conexión WiMax puedan seguir utilizando su terminal.

Por otro lado, los fabricantes de productos electrónicos, tal como Intel, podrán crear chips para un mercado global. Este criterio es determinante para las industrias, ya que permitirá que los precios bajen rápidamente.

En un primer momento, las redes WiMax funcionarán con terminales conectados a la red de Internet, debido a que inicialmente están siendo desarrollados para esta funcionalidad.

Cada uno de estos terminales tendrá capacidad para varios cientos de usuarios, que funcionarán como puntos de acceso a las redes de las empresas o de los mismos terminales WiFi.

### **A.1.1 Introducción a WiMax**

**WiMax** (Worldwide Interoperability for Microwave Access) es el nombre generalizado con el que se conoce el estándar IEEE-802.16, un estándar inalámbrico aprobado en enero del año 2003 en el WiMax Forum, formado inicialmente por un grupo de 67 compañías.

**WiMax** es un estándar que define una red metropolitana de banda ancha inalámbrica (WMAN), que es una especie de gigantesco “Hot Spot” que permite la conexión sin línea de vista, presentándose así como una alternativa de conexión “fija” al cable y al ADSL para los usuarios residenciales, siendo una posible red de transporte para los “Hot Spot” Wi-Fi y una solución para implementar plataformas empresariales de banda ancha.

La tecnología WiMax, que en general integra dos estándares del mercado en todas sus versiones y nuevos desarrollos, estos son: IEEE 802.16a y el europeo ETSI HyperMan, promete satisfacer la creciente demanda de banda ancha e integrar servicios de datos, tanto comerciales como residenciales, asegurando calidad de servicio.

Por otra parte, las grandes empresas de telecomunicaciones podrían usarla para la creación de una plataforma común para sus distintos clientes, definiendo perfiles para las grandes empresas, los usuarios hogar, pymes, entre otros potenciales usuarios, dejando de depender de las líneas telefónicas o redes de TV cable, actualmente en manos de un par de compañías.

Otra característica inicial de esta plataforma será la posibilidad de auto instalación donde sólo habrá que conectar los computadores a un módem, e ingresar una password para la facturación por el uso, para conectarse a través de las antenas que llevarán el servicio al área.

Esta alternativa tecnológica ofrece un mayor ancho de banda y alcance que la familia de estándares WiFi, compuesta básicamente por los estándares 802.11a, 802.11b y 802.11g.

De esta manera, **WiMax** está llamado a ser el nuevo paso hacia un mundo sin cables. Igual que ha ocurrido con **WiFi** en los dos últimos años, y será probablemente el centro de atención para los próximos años y negocios emergentes.

La diferencia principal entre estas dos tecnologías inalámbricas son su **alcance y ancho de banda**. Por una parte, WiFi está pensado para dar servicio en oficinas o dar cobertura a zonas relativamente pequeñas con una tasa de transferencia de 11 Mbps con una cobertura hasta de 350 metros en zonas abiertas, mientras que **WiMax ofrece tasas de transferencia de 70 Mbps a distancias de hasta 50 kilómetros de una estación base**.

Además, no menos importantes son las características técnicas que diferencian WiFi de WiMax, tales como: **Escalabilidad, Cobertura, y Calidad de Servicio** (QoS), como se indica en las Tablas A.1.1 y A.1.2 siguientes:

**Tabla A.1.1**

| Características  | Estándar 802.11                                                                                                                                | Estándar 802.16                                                                                                                                    | Observación                                                                           |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Alcance</b>   | Optimizado para usuarios alrededor de 100 metros de radio.<br><br>Agrega puntos de acceso o antenas de alta ganancia para una mayor cobertura. | Optimizado para celdas típicas de 7 a 10 km.<br><br>No existen los problemas de los “nodos ocultos” o desconocidos que puedan hacer uso de la red. | La Capa Física del 802.16 tolera retardos de multicaminos, 10 veces más que el 802.11 |
| <b>Cobertura</b> | Optimizado para medio ambiente de interior (indoor).                                                                                           | Optimizado para medio ambiente de exterior (outdoor).<br><br>Estándar soporta técnicas avanzadas de antenas y topologías de enmallamiento.         | <b>802.16:</b> 256 OFDM<br><br><b>802.16:</b> Modulación adaptativa                   |

|                      |                                               |                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                   |
|----------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Escalabilidad</b> | Ancho de banda del canal para 20 MHz es fijo. | Ancho de banda del canal es flexible desde 1.5 a 20 MHz para bandas licenciadas y no licenciadas.<br><br>Reutilización de frecuencias.<br><br>Habilitado para planificación de celdas para proveedores de servicios comerciales. | Canales no traslapados:<br><br>02.11a: 5 canales<br><br>802.11b: 3 canales<br><br>802.16: está limitado solo por la disponibilidad en la asignación del espectro. |
|----------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Tabla A.1.1 Diferencias de Alcance, Cobertura y Escalabilidad entre estándares 802.11 y 802.16 (Fuente: IEEE)**

**Tabla A.1.2**

| Características            | Estándar 802.11                                                             | Estándar 802.16                                                                                                                                               | Observación                                                                                                                                                            |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ancho de Banda (BW)</b> | 2.7 bps/Hz tasa peak de datos, hasta 54 Mbps con un BW del canal de 20 MHz. | 3.8 bps/Hz tasa peak de datos, hasta 75 Mbps con un BW del canal de 20 MHz.<br><br>5 bps/Hz tasa peak de datos, hasta 100 Mbps con un BW del canal de 20 MHz. | <b>802.16:</b> 256 OFDM (vs 64 OFDM)                                                                                                                                   |
| <b>QoS</b>                 | Hoy no soporta QoS (el estándar 802.11e, está trabajando para estandarizar) | QoS es diseñado para servicios diferenciados de voz y video                                                                                                   | 802.11: Basado en contención MAC (CSMA).<br><br>802.16: Gran demanda MAC.<br><br>Nota: MAC está explicado en el apartado de las especificaciones del estándar 802.16). |

**Tabla A.1.2 Diferencias de Ancho de Banda y Calidad de Servicio (QoS) entre estándares 802.11 y 802.16 (Fuente: IEEE)**

De acuerdo con las características anteriores, WiMax está considerado que podría llegar a ser una alternativa más barata a las líneas de suscripción digital y a los accesos de cable de banda ancha, ya que los costos de instalación de una infraestructura inalámbrica son mínimos si se comparan con las versiones cableadas.

No obstante, WiMax como estándar certificado todavía no es una realidad, considerando que incluso los chips basados en esta tecnología ni siquiera están disponibles. Sin embargo está atrayendo inversionistas y las compañías se están preparando para fomentar su demanda.

Tal es así que **Intel** espera comenzar a lanzar chips al mercado con WiMax, en la segunda mitad de este año 2004 o principios del 2005.

### **A.1.2 Principio de Funcionamiento de la Tecnología WiMax**

Este análisis y especificaciones técnicas del WiMax está basado en los estudios conducidos por el Grupo de Trabajo del IEEE, el cual decidió que se podría requerir un nuevo, más complejo y completo desarrollo del estándar para direccionar las necesidades requeridas por la Capa Física (transmisiones de RF en exterior versus interior) y la Calidad de Servicio (QoS) en los sistemas Broadband Wireless Access (BWA) y su acceso al mercado de la “última milla”.

WiMax es un típico sistema BWA punto a multipunto compuesto de dos elementos clave:

- Estación Base
- Equipo de abonado

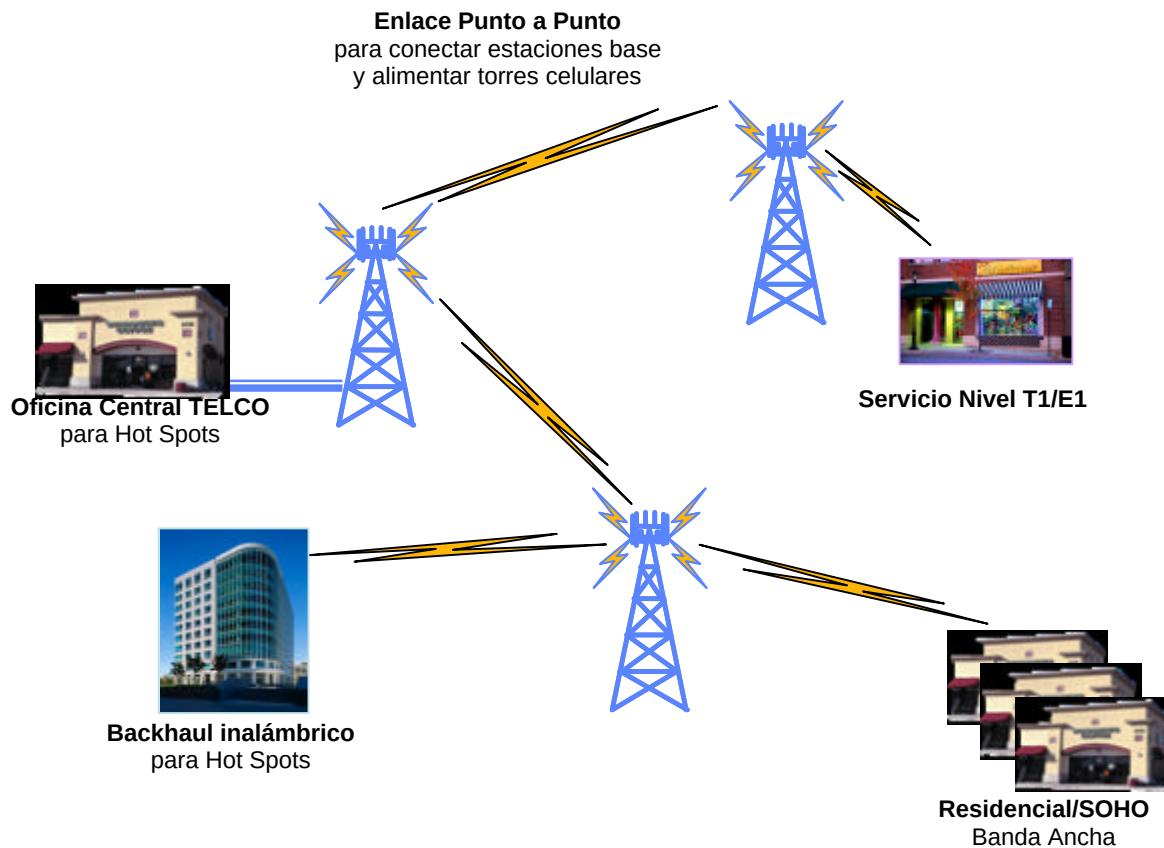
La estación base se interconecta al backbone de la red y usa una antena exterior para transmitir y/o recibir voz y datos de alta velocidad hacia el equipo subscritor, eliminando la necesidad de extensión y una costosa infraestructura alámbrica, para proporcionar una alta flexibilidad y soluciones costo-efectivas en la “última milla”.

El estándar 802.16 define como el tráfico inalámbrico que se moverá entre las redes centrales y los abonados, llegando al siguiente funcionamiento, de acuerdo con las Fases relacionadas con la Figura A.1.1:

**Fase 1:** El abonado envía su tráfico inalámbrico hasta velocidades de 70 Mbps desde una antena fija sobre un edificio.

**Fase 2:** La estación base recibe transmisiones desde múltiples sitios y envía el tráfico sobre un sistema inalámbrico o enlaces de cable a un Centro de Conmutación usando el protocolo 802.16.

**Fase 3:** El Centro de Conmutación envía el tráfico a un ISP o a la PSTN.



**Figura A.1.1 Funcionamiento del WiMax (Fuente: IEEE)**

### **A.1.3 Especificaciones del estándar IEEE 802.16**

De acuerdo con los estudios realizados en el IEEE, en la Capa Física (PHY layer), el estándar 802.16a soporta canales de RF con anchos de banda flexibles y reutiliza aquellos canales (reutilización de frecuencias), como una manera de aumentar la capacidad de las celdas a medida que la red va creciendo.

Este estándar también especifica el soporte para la transmisión automática del control de potencia y mediciones de la calidad del canal como una herramienta adicional de Capa Física para soportar la planificación, despliegue y uso eficiente del espectro.

Los operadores pueden **reubicar las frecuencias en el espectro** mediante la sectorización y fraccionamiento de celdas a medida que aumenta el número de abonados.

También, soporta anchos de banda para múltiples canales posibilitando que los fabricantes de equipos proporcionen un medio para que el Gobierno administre el uso del espectro y regule las ubicaciones de frecuencias enfrente de los operadores en diversos mercados internacionales.

El estándar 802.16a del IEEE especifica el tamaño de los canales en el rango de **1.5MHz hasta 20MHz** con muchas opciones en dicho rango.

Por su parte, a diferencia del estándar anterior, los productos basados en WiFi requieren al menos 20MHz por cada canal (22MHz en la banda 2.4GHz para el 802.11b), y han especificado solamente las bandas no licenciadas, 2.4GHz ISM, 5GHz ISM y 5GHz UNII para su operación.

En la Capa MAC (Medium Access Control), la base del 802.11 es el protocolo CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance), que es básicamente un protocolo inalámbrico Ethernet, que hace de balance para conocer que tan bien trabaja la red Ethernet. Esto es para decir, que trabaja pobremente, dado que en una red LAN Ethernet, actúan muchos usuarios en una reducción geométrica del “throughput” o rendimiento total, esto es el CSMA/CA MAC para WLANs (o LAN inalámbrica).

En el estándar **802.16a**, la Capa MAC ha sido diseñada para administrar entre **1 y 100 usuarios en un canal de RF**, en cambio el 802.11 MAC nunca fue diseñado para esto y es incapaz de soportar esta operación.

#### **A.1.3.1 Cobertura**

El estándar 802.16a para Acceso Inalámbrico de Banda Ancha (BWA o Broadband Wireless Access) es diseñado para obtener un óptimo comportamiento en todos los tipos de propagación, incluyendo las condiciones de LOS (línea de vista), LOS cercano y NLOS (No línea de vista), y entregar resultados confiables aún en casos de enlaces difíciles.

La robustez de la señal **OFDM** (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) soporta una alta eficiencia espectral (bits por segundo por Hertz) sobre rangos entre 2 y 50 kilómetros con una tasa de bits hasta de 70 Mbps sobre un único canal de RF.

Algunas topologías avanzadas de red tales como la de enmallamiento o mesh, y técnicas de antenas (beam-forming, STC, o antenas en diversidad) pueden ser usadas para mejorar aún más la cobertura. Estas técnicas avanzadas pueden ser también utilizadas para **aumentar la eficiencia**

### **espectral, capacidad, reutilización, y el rendimiento peak y promedio por canal de RF.**

Cabe señalar que no todos los sistemas con OFDM actúan igual. El diseño de OFDM para BWA tiene la habilidad de soportar largos rangos de transmisión y las multitrayectorias o reflexiones de la señal.

Por otra parte, los sistemas WLANs y 802.11 tienen en su núcleo de operación una aproximación básica de CDMA (Code Division Multiple Access) o usan OFDM con diferentes diseños, y tienen un rango bajo de requerimiento de consumo de potencia. OFDM en las WLAN fue creado con la visión de los sistemas de cobertura entre 10 hasta unos pocos cientos de metros, en cambio el **estándar 802.16** es diseñado para **alta potencia** y una aproximación OFDM que soporta despliegues en el rango de las **decenas de kilómetros**.

Esta mayor cobertura de WiMax permitirá que los proveedores de servicios sean capaces de ofrecer acceso a Internet de banda ancha directamente a las casas, sin tener que tender un cable físico hasta el final, lo que se conoce como la "última milla", que conecta a cada uno de los hogares con la red principal de cada proveedor.

#### **A.1.3.2 Calidad de Servicio (QoS)**

El estándar 802.16a MAC confía en un protocolo de Cesión/Requerimiento para acceso al medio y éste soporta niveles de servicios diferenciados. (por ejemplo, líneas dedicadas T1/E1 para negocios y el mejor esfuerzo para abonados residenciales).

El protocolo emplea flujos de datos TDM sobre el DL (downlink) y TDMA sobre el UL (uplink), y el proceso de la información es realizado por un programa centralizado para apoyar los servicios sensibles al retardo tal como la voz y el video. Suponiendo un acceso de datos al canal libre de colisiones, el 802.16a MAC mejora el rendimiento total del sistema y la eficiencia del ancho de banda, en comparación con las técnicas de acceso basadas en contención tal como el protocolo CSMA/CA usado en WLANs.

El 802.16a MAC también asegura la limitación del retardo sobre los datos (CSMA/CA, en cambio, no ofrece garantías sobre el retardo).

Las técnicas de acceso TDM/TDMA también aseguran un soporte más fácil para los servicios de multidifusión y difusión o emisión única de la señal.

Con una aproximación CSMA/CA para su operación, WLANs en su actual implementación nunca será capaz de entregar el QoS de un BWA como el sistema del estándar 802.16.



El IEEE ha realizado el esfuerzo por algunos años para desarrollar este nuevo estándar 802.16a, culminando en una aprobación final de las especificaciones de la interfaz aire en Enero 2003. Este estándar ha sido bien recibido por toda la industria que apoya y lidera la fabricación de equipos inalámbricos.

Cabe señalar que muchas compañías que son miembro del grupo WiMax están también activas simultáneamente en el estándar IEEE 802.16 y en el estándar IEEE 802.11 para Wireless LAN, con la visión de combinar el 802.16a y 802.11 creando una solución inalámbrica completa para entregar acceso a Internet de alta velocidad para negocios, hogares, y coberturas pincel o spot para WiFi.

El estándar 802.16a entrega un comportamiento “carrier-class” en términos de robustez y QoS, y ha sido diseñado para entregar un abanico de servicios con características escalables, largo alcance y alta capacidad para la “última milla” en comunicaciones inalámbricas, para portadores y proveedores de servicio alrededor del mundo.

#### **A.1.4 WiMAX, la Capa Física del estándar IEEE 802.16a**

La primera versión del estándar 802.16 se refirió a los medios donde existía Line-of-Sight (LOS) o línea de vista para bandas de alta frecuencia operando en el rango de **10 a 66 GHz**, mientras que en los recientes desarrollos adoptados, el estándar 802.16a, es diseñado para operar sistemas en bandas en el rango de **2 a 11 GHz**.

La diferencia entre aquellos dos rangos de frecuencia está en la habilidad para soportar operaciones sin línea de vista (NLOS) en las frecuencias bajas, o algo que no sea posible en bandas más altas. Consecuentemente, las enmiendas a la 802.16a conducen a un estándar abierto y la oportunidad para mayores cambios a las especificaciones de la capa física orientadas a administrar las necesidades de las bandas entre 2 y 11 GHz.

Esto es logrado mediante la introducción de tres nuevas especificaciones a la Capa Física (una nueva portadora única para la PHY, una Transformada Rápida de Fourier de 256 puntos o FFT OFDM PHY, y una FFT OFDMA PHY de 2048 puntos); mayores cambios a las especificaciones de la capa PHY son comparadas a las frecuencias altas, así como los mejoramientos significativos de la capa MAC.

El formato de OFDM ha sido seleccionado en preferencia sobre el CDMA debido a su habilidad para soportar los comportamientos NLOS y mantener un alto nivel de eficiencia espectral al usar la disponibilidad de espectro. En el caso de CDMA (donde prevalece para los estándares 2G y 3G), el ancho de banda de RF debe ser mucho mas grande que el rendimiento de la señal de

datos, para mantener una adecuada ganancia de procesamiento y prevenir la interferencia.

Esto es claramente impracticable para inalámbricos de banda ancha bajo los 11 GHz, por ejemplo, tasas de datos hasta 70 Mbps podrían requerir anchos de banda de RF sobre los 200 MHz para entregar ganancias de procesamiento comparables comportamiento de NLOS adecuados.

#### **A.1.4.1 OFDM PHY en el estándar 802.16a**

El diseño típico de un modulador y demodulador **OFDM para el 802.16a** que fue desarrollado en Noviembre 2002, con la aprobación del estándar en Enero 2003, se espera que se mantenga hasta tener el estándar oficial, si es que no existen mayores cambios.

Algunas especificaciones relevantes son las siguientes:

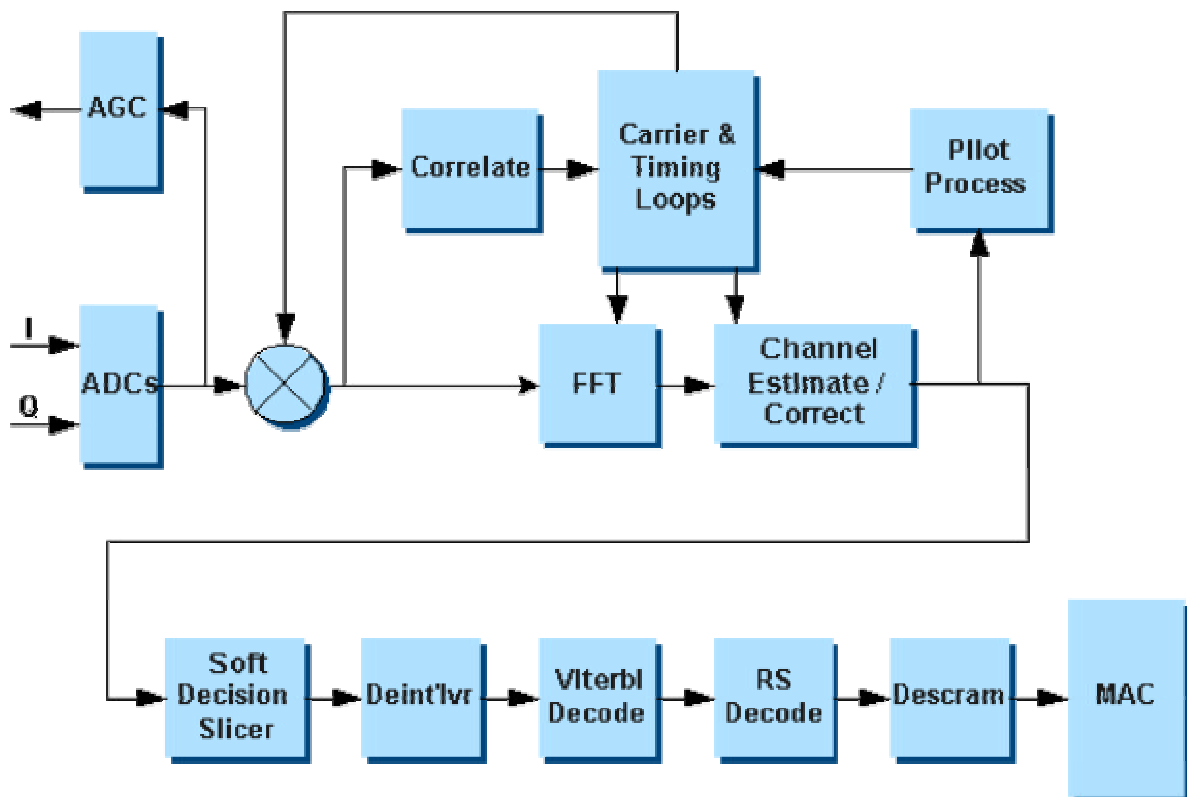
- **Tamaño del FFT:** 200 portadoras usadas desde un FFT de 256 puntos
- **Tonos pilotos:** 8 ubicaciones fijas, portadora continua no utilizada
- **Intervalo de Guardia (prefijo cíclico):** 1/4, 1/8, 1/16 o 1/32
- **Modulación:** QPSK, 16QAM y 64QAM
- **Tasa de Símbolos:** Hasta en canales de 28 MHz
- **FEC:** Código Reed-Solomon concatenado y código Convolutivo
- **RS:** basado en  $N=255$ ,  $K=239$ ,  $T=8$  código sobre  $GF(256)$  – acortado y explorado para las variables  $K$  y  $T$
- **Viterbi:** Tasa nativa del código 1/2, Longitud (constraint length) 7, explorado a las tasas 2/3, 3/4 y 5/6
- **Interleaver:** Dos pasos de permutación
- **Modo Dúplex:** TDD o FDD
- **Preámbulo:** Generación / Adquisición de los preámbulos para Uplink y Downlink

#### **A.1.4.2 Diagrama en Bloque del demodulador OFDM**

En la Figura A.1.2, las señales **I** (In phase) y **Q** (Quadrature) ingresan al control automático de señales digitales **ADC**, en banda base con un muestreo

a 10 bit como recomendación de operación, hasta completar el flujo del proceso obteniendo finalmente el **MAC (Medium Access Control)**.

La Figura A.1.2 muestra las etapas de un demodulador OFDM para WiMax.



**Figura A.1.2 Demodulador OFDM para WiMax (Fuente: IEEE)**

El significado de los principales bloques es el siguiente:

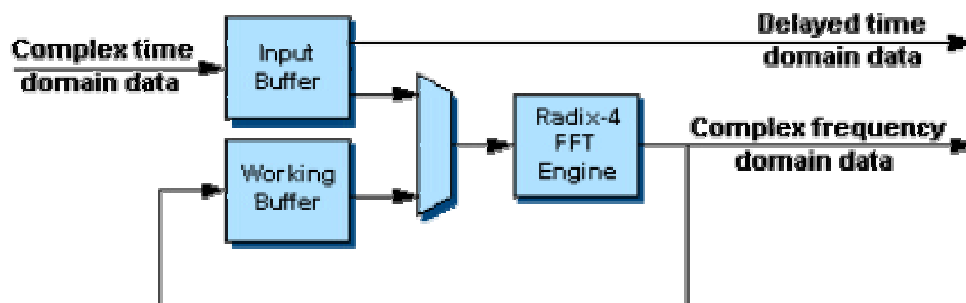
- **AGC:** Control Automático de Ganancia
- **Carrier and Timing Loops:** Es el control del loop para rastrear la portadora y determinar los errores de temporización.
- **Channel Estimation and Correction:** Estima la frecuencia del canal y la respuesta de fase desde la secuencia conocida del preámbulo y aplica los siguientes símbolos OFDM para corregirlos.
- **OFDM FFT Core:** El núcleo de la FFT (Transformada Rápida de Fourier) implementa FFT de 64 o 256 puntos y la FFT inversa es adecuada para uso en el Demodulador o Modulador de los sistemas OFDM (COFDM) tal como en los estándares 802.11a y 802.16a. Esto usa un rápido y eficiente

motor denominado radix-4, para calcular la FFT. Toda la lógica es totalmente conectada a un reloj a una velocidad simple de 4x.

Las características principales de esta etapa son:

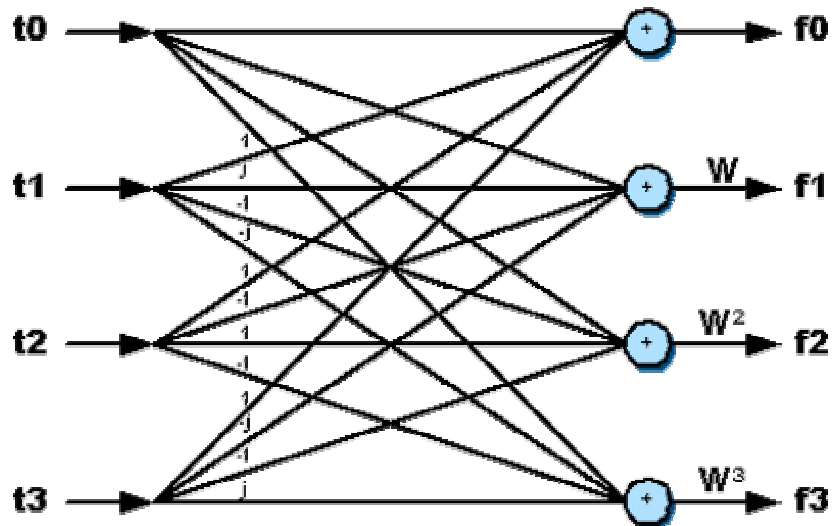
- o Control de Síntesis para FFT de 64, 256 puntos u otro tamaño igual a  $2^{2n}$ .
- o Control de Síntesis de la precisión de la señal (ancho variable).
- o Ejecuta proceso directo (FFT) e inverso (IFFT).
- o Incorpora una unidad buffer de entrada por retardos el cual puede ser usado como temporizador de símbolos.
- o Las entradas son disparadas en tiempo a una tasa simple.
- o Las salidas son producidas en una ráfaga a una tasa de reloj de 3x o 4x.
- o Las salidas son producidas en orden aleatorio.

La Figura A.1.3 siguiente muestra un diagrama de bloques de una FFT de 64/256 puntos.



**Figura A.1.3 Diagrama de Bloques de una FFT de 64/256-puntos (Fuente: IEEE)**

**Radix-4 FFT Engine**, esta etapa transforma la información desde el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, usando la función **W** la cual suma todas las entradas y entrega las informaciones de salida desplazadas en frecuencia, como se indica en la Figura A.1.4.



**Figura A.1.4 Esquema operacional del motor de FFT Radix-4 (Fuente: IEEE)**

Otros significados de los bloques de la Figura A.1.2 son:

- **Pilot Process.** Efectúa la medición de la fase del tono piloto para estimar los errores de la portadora y temporización.
- **Soft Decisión.** Esta etapa utiliza 3 o 4 bits de decisión con importancia en la calidad del canal para maximizar el comportamiento del código convolucional.
- **Deinterleaver.** El Desintercalador de permutaciones de 2 etapas se usa para expandir los errores debido a las portadoras de mala calidad.
- **Burst-Mode Viterbi Decoder para los estándares 802.11a y 802.16.** Este dispositivo es utilizado por ambos estándares, pero también es aplicable a rangos mayores de transmisión, tal como en aplicaciones DOCSIS y DVB-T.

Sus características principales son las siguientes:

- Código nativo con tasa de  $1/2$ , con exploración definida por el usuario.
- Restricción de Longitud del código y el generador de coeficientes son programables.
- Longitud de la traza de regreso es configurable.

- o Mínima latencia entre bloque de códigos.
- o Tamaño del bloque es variable y arbitrario
- **RS Encoder y Decoder Core.** El Código Reed Solomon es usado en muchas aplicaciones incluyendo los estándares **802.16 y DVB-T/C/S**. Su mensaje tiene longitud **K** y la palabra codificada tiene una longitud **N**. Los símbolos para los códigos son enteros entre **0 y  $2^M-1$** , lo que representa los elementos del campo finito  **$GF(2^M)$** . La diferencia  **$N - K$**  debe ser un número entero. Un código Reed-Solomon (**N, K**) puede corregir hasta  **$T = (N-K)/2$**  símbolos en error (no bit en error) en cada uno de las palabras codificadas.

Una aplicación típica de este núcleo es para el estándar MAN inalámbrico 802.16 donde las opciones podrían ser las siguientes:

- **$N = 255, K = 239, T = 8, GF(256)$  ejemplo:  $M = 8$**
- **$G(x) = (x-a^0)(x-a^1) \dots (x-a^{2T-1})$**
- **$? = 2, J_0 = 0$**
- **$P(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$**
- **Diagrama de Bloques del RS Decoder/Encoder.** En la Figura A.1.5, se muestra un típico diagrama en bloques de un Codificador y Decodificador Reed Solomon para aplicaciones en el estándar inalámbrico 802.16.

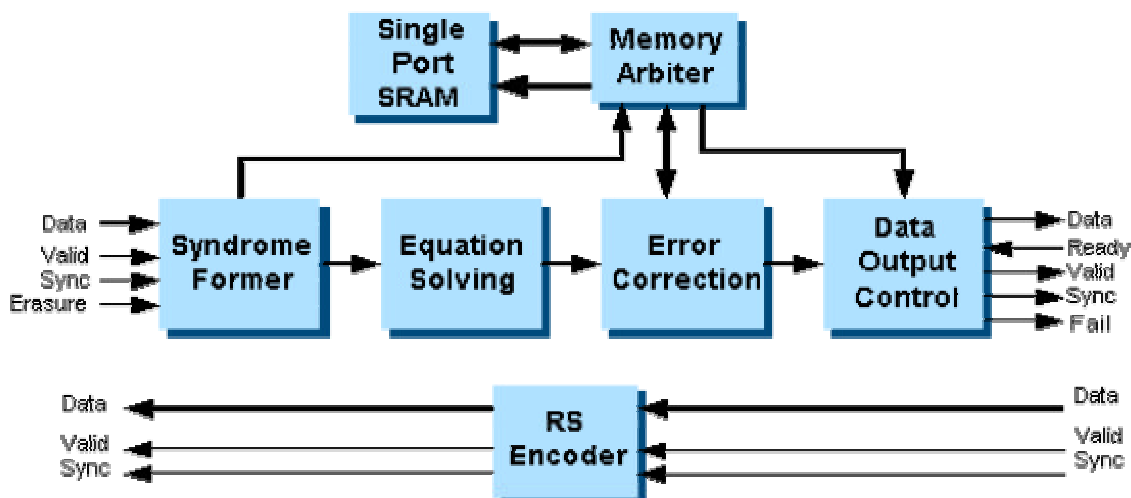


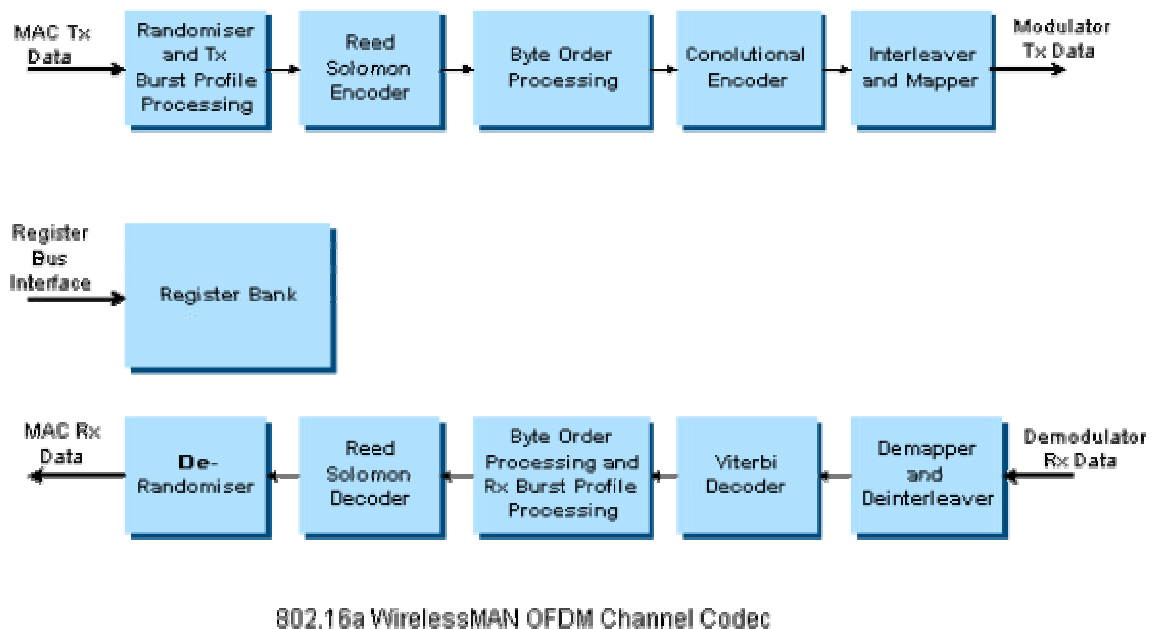
Figura A.1.5. Codificador y Decodificador Reed Solomon (Fuente: IEEE)

- **Descrambler.** El desincryptador utiliza el siguiente polinomio para su operación:  $1 + x^{14} + X^{15}$
- **MAC (Medium Access Control).** Se puede lograr mediante un block IP combinando todas las funciones requeridas para implementar un Codificador de canal OFDM para una MAN inalámbrica 802.16a.

Este núcleo se ha diseñado para acelerar el desarrollo de la solución 802.16a combinando todas las funciones requeridas en la capa física en un solo paquete integrado. Este paquete hace de interfaz entre el MAC y la sección del FFT de una solución 802.16a, además de proporcionar un registro para la interfaz de configuración del procesador central.

El núcleo ejecuta todas las funciones del administrador del perfil de ráfagas que son requeridas para soportar la tasa de código dinámica y el orden QAM para conmutación entre ráfagas.

Los modos operacionales diferentes del 802.16a son totalmente soportados por el bloque con una cabecera mínima (overhead) de la CPU. En la siguiente Figura A.1.6, se muestra el diagrama de bloques del Codificador del canal en el estándar 802.16a.



**Figura A.1.6. Diagrama de Bloques del Codificador del Canal del 802.16a.**  
(Fuente: IEEE)

Otra de las características de la capa física del 802.16a es el instrumental de potencia que está apareciendo con esta tecnología para entregar comportamientos robustos en un amplio rango de características del canal,

tales como; ancho flexible del canal, perfil adaptativo de ráfagas, FEC (forward error correction) con códigos Reed-Solomon concatenados y códigos convolucionales.

Opcionalmente, se tienen AAS (advanced antenna systems) para mejorar la capacidad y alcance, DFS (dynamic frequency selection) la cual ayuda a minimizar la interferencia, y STC (space-time coding) para mejorar el comportamiento en medios ambientes con desvanecimientos a través de la diversidad de espacio.

En la Tabla A.1.3 se muestran las características de alto nivel de la capa física del estándar IEEE 802.16a.

**Tabla A.1.3**

| Características                                                                                 | Beneficios                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Forma de Onda de 256 puntos FFT OFDM                                                            | Construido como soporte para direccional multicaminos en exteriores con ambientes LOS y NLOS.                                                                                            |
| Modulación Adaptativa y codificador variable para corrección de errores mediante ráfagas de RF. | Asegura un enlace robusto en RF mientras maximiza el número de bits/segundo para cada unidad de abonado.                                                                                 |
| Soporte dúplex en TDD y FDD                                                                     | Dirección variable de acuerdo a las regulaciones mundiales donde uno o ambos pueden ser elegidos.                                                                                        |
| Tamaño de canales flexible (ejemplo: 3.5 MHz, 5 MHz, 10 MHz, etc)                               | Proporciona la flexibilidad necesaria para operar en muchas bandas de frecuencias variando los requerimientos del canal alrededor del mundo.                                             |
| Diseñado para soportar sistema de antenas Smart                                                 | Las antenas Smart están rápidamente siendo económicas y su habilidad para suprimir interferencias y aumentar la ganancia del sistema llegará a ser importante en los desarrollos de BWA. |

**Tabla A.1.3 Características de la capa física del 802.16a (Fuente: IEEE)**

Mientras todas las características mencionadas en la Tabla A.1.3 son requerimientos necesarios para una operación básica de BWA en exterior, los tamaños flexibles del canal son necesarios si un estándar está realmente desplegado alrededor del mundo.

Esto es porque las regulaciones establecen las frecuencias que deben operar en los equipos y como resultado tenemos que el tamaño de los canales utilizados, puede variar país a país.

En el caso de tener **espectro licenciado**, es imperativo que el sistema desplegado use todas las ubicaciones del espectro y proporcione flexibilidad en cada celda o en despliegues adicionales.



Además, si un operador ha sido garantizado por 14 MHz, ellos no quieren un sistema que tiene canales de 6 MHz, desperdiciando 2 MHz de espectro. Los operadores quieren un sistema que pueda ser desplegado con canales de 7 MHz, 3.5 MHz o incluso con 1.5 MHz para tener una máxima adaptabilidad.

Cada red inalámbrica opera fundamentalmente en un **medio compartido** y como tal requiere un mecanismo para control de acceso de las unidades subscriptoras al medio. El estándar 802.16a usa un protocolo TDMA programado por la BTS (Base Transceiver Station) para localizar la capacidad de subscriptores en una topología de red de punto a multipunto.

Mientras esto se parece al efecto de tener una línea telefónica normal, los informes técnicos dicen que esto tiene un alto impacto sobre cómo operan los sistemas y qué servicios se pueden desplegar.

Al inicio con una aproximación de TDMA con programación inteligente, los sistemas WiMax serán capaces de entregar no solamente datos de alta velocidad con SLAs (Service Level Agreement), sino que servicios de sensitiva latencia tal como voz y video o accesos de base de datos.

El estándar entrega Calidad de Servicio (QoS) mas allá de una simple priorización, una técnica que es muy limitada en efectividad cuando la carga de tráfico y el número de abonados aumenta.

La capa MAC en sistemas certificados WiMax ha sido diseñada para dirigir el severo medio ambiente de la capa física donde la interferencia, rápidos desvanecimientos y otros fenómenos prevalecen en la operación en exteriores.

En la siguiente Tabla A.1.4, se muestran las características del MAC 802.16a.

**Tabla A.1.4**

| <b>Características</b>                                                                                         | <b>Beneficios</b>                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Programa TDM/TDMA en tramas Uplink y Downlink.                                                                 | Uso eficiente del ancho de banda                                                                                                                                                                           |
| Escalable desde 1 a cientos de abonados                                                                        | Permite despliegues de Costo-Efectivo al soportar a los abonados para entregarles un robusto caso de negocios.                                                                                             |
| Orientado a la conexión                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"><li>➤ Para conexiones con QoS.</li><li>➤ Enrutamiento y envío más rápido de paquetes.</li></ul>                                                                          |
| QoS soporta variaciones continuas de tasas de bits en tiempo real y no real de acuerdo con el "Mejor Esfuerzo" | <ul style="list-style-type: none"><li>➤ Baja latencia para servicios sensitivos al retardo (Voz TDM, VoIP)</li><li>➤ Transporte óptimo para tráfico VBR (ejemplo videos). Priorización de datos.</li></ul> |

|                                                   |                                                                                                               |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Requerimiento Automático de Retransmisiones (ARQ) | Mejora el comportamiento end to end ocultando las capas de RF que inducen a error desde las capas superiores. |
| Soporte para modulación adaptativa                | Habilita tasas mayores de datos por las condiciones del canal, mejorando la capacidad del sistema.            |
| Seguridad y Encriptación                          | Protege la privacidad del usuario.                                                                            |
| Control Automático de Potencia                    | Habilita el despliegue celular minimizando la auto interferencia.                                             |

**Tabla A.1.4 Características del MAC 802.16a. (Fuente: IEEE)**

El establecimiento de un estándar es crítico para una tecnología, sin embargo por esto mismo un estándar no es suficiente.

El estándar WLAN 802.11b fue ratificado en 1999, sin embargo, éste no alcanzó una adopción de masa crítica hasta la introducción del WiFi Alliance, y la certificación de equipamiento interoperable estuvo disponible en el 2001.

Respecto a darle interoperabilidad al sistema Broadband Wireless Access, el WiMax Forum está orientado a establecer un único subconjunto de características base agrupadas en lo que se llama "System Profiles" o perfiles del sistema, donde todas las exigencias para los equipos deben ser satisfechas.

Aquellos perfiles y un conjunto de protocolos de test establecerán los protocolos de interoperación básicos, permitiendo equipos de múltiples proveedores para interoperar, con los consiguientes resultados para los Integradores de Sistemas y Proveedores de Servicios los cuales tendrán la opción de comprar equipos desde más de un proveedor, con las restricciones del espectro regulatorio enfrentado por los operadores en diferentes países.

Por ejemplo, un proveedor de servicios en Europa operando en la banda 3.5 GHz, quién ha sido ubicado en 14 MHz del espectro, igualmente esperaría equipos que soporten canales de 3.5 y/o 7 MHz de ancho de banda, y dependiendo de los requerimientos regulatorios, una operación en TDD (Time Division Duplex) o FDD (Frequency Division Duplex).

Similarmente, un WISP (Wireless Internet Service Provider) en los Estados Unidos usando espectro no licenciado en la banda de los 5.8 GHz UNII puede desear equipos que soporten TDD y un ancho de banda de 10 MHz.

WiMax está estableciendo un cumplimiento de estructura basado en una metodología de Prueba especificados por la **ISO/IEC 9646.3**. El proceso se inicia con Proyectos de Prueba Estándarizados escritos en inglés, los cuales son traducidos en Paquetes de Pruebas Abstractos Estandarizados en un lenguaje llamado **TTCN.4**.

En paralelo con el Proyecto de Pruebas, estos son usados como entradas para generar Tablas de Prueba referidos como los PICS (Protocol Implementation Conformance Statement) y se genera la Proforma.

El resultado final es un completo conjunto de herramientas de Pruebas que el WiMax tendrá disponible para los desarrolladores de equipos y así ellos podrán diseñar en conformidad con las características establecidas y operabilidad durante las fases iniciales del desarrollo del producto.

Típicamente esta actividad comenzará cuando el primer prototipo integrado este disponible.

Ultimamente, el conjunto de Pruebas del WiMax Forum, en conjunto con las pruebas de interoperabilidad, posibilitarán a los proveedores de servicios la elección de múltiples proveedores de equipos que ofrezcan equipos de acceso inalámbrico de banda ancha según el IEEE 802.16a, el que estará optimizado para su medio ambiente de operación.

#### **A.1.5 WiMax Forum**

Este grupo se fundó en abril del 2001, reorganizado en febrero del 2003, formado inicialmente por las empresas **Intel, Airspan, Fujitsu, Wi-LAN, Proxim y Alvarion**.

Para poder darnos cuenta, el Wi Max Forum es al 802.16a y de lo que la alianza WiFi es al 802.11b.

Este grupo está enfocado a la prueba de interoperabilidad y certificación de los estándares 802.16a (con un perfil de 256 OFDM), y 802.16d.

Actualmente el WiMax Forum cuenta con 114 miembros, y sigue creciendo, como se indica en la Tabla A.1.5, donde a la fecha los participantes son los que se indican a continuación.

### **Tabla A.1.5**

airBand  
Airespace, Inc.  
Airspan Networks  
Alcatel  
Altitude Telecom  
Alvarion  
Analog Devices  
Andrew Corporation  
Aperto Networks  
ARRIS  
AT&T Labs-Research  
Atheros  
Axxcelera Broadband Wireless  
Azimuth Systems  
Azonic Systems, Inc  
BeamReach Networks, Inc.  
Beceem  
British Telecom  
CableTV Technology  
Cambridge Broadband  
Ceragon  
CETECOM  
China Motion Telecom  
COM DEV  
Compliance Certification Services  
Comtech AHA  
Covad Communications  
CTS Communications Components  
Cushcraft Corporation  
Daintree Networks Inc.  
Dishnet Wireless Limited  
Distributel  
Eircom  
Elcoteq  
Euskaltel S.A.  
Filtronic  
First Avenue Networks  
FON  
France Telecom  
Fujitsu

InfiNet Wireless Ltd.  
Intel Corporation  
Intracom  
Invenova  
Iskra Transmission  
Ixia  
K & L Microwave  
Kaon  
KarlNet, Inc.  
L3 PrimeWave  
LCC  
LightCore  
M-Web  
MiCOM Labs  
mmWave Technologies  
Motorola  
Murandi Communications Ltd.  
Navini  
NCIT  
nex-G Systems Pte Ltd  
NextNet Wireless  
NextWave Telecom  
Nozema  
OFDM Forum  
Ontap4U  
P-Com  
Parks  
PCCW  
PicoChip  
Pronto Networks  
Proxim  
Qwest  
Radionet  
Radwin  
Redline Communications  
Reliance Infocomm Limited  
RF Integration  
RF Magic  
RFI  
Sanjole  
Securitas Direct  
SEQUANS Communications

SGS Taiwan Ltd.  
Shenzhen Powercom  
Shorecliff Communications  
SIAE Microelettronica  
Siemens Mobile  
Sierra Monolithics  
Sify Limited  
SiWorks  
Skyworks Solutions  
SpectraSite  
SR Telecom  
StoneBridge Wireless, Inc.  
Stratex Networks  
Sumitomo Electric USA  
TATA Teleservices Ltd  
TDK  
Telenor  
Theta Microelectronics, Inc.  
Towerstream  
Tratec Holding  
TRDA  
Trillion  
Unwired Australia  
VCom Inc.  
Vivato  
Vyyo  
Walbell  
WaveRider Communications  
Wavesat Wireless Inc.  
WiLan  
XO Communications  
ZTE Corporation

**Tabla A.1.5 Miembros Wi Max Forum (Fuente: WiMax Forum)**

### **A.1.6 Estándares Presentes en la Tecnología**

Los estándares que están presentes en la familia del 802.16 son los indicados en la siguiente Tabla A.1.6.

**Tabla A.1.6**

| Estándar      | Característica                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 802.16        | Es un sistema Fixed Wireless Access (FWA), conocido como LMDS, en 10 a 66 GHz y con modulación QAM. También es el estándar del Wireless IP con frecuencias bajo los 10 GHz.                                                                  |
| 802.16a       | Comienza en Enero 2003. Es conocido como WiMAX con frecuencias bajo 10 GHz (2.4, 2.5, 3.5 y 5.8 GHz para los primeros productos. Posee una capa MAC, y 3 capas físicas: OFDM, OFDMA y Single Carrier<br>Agrega las frecuencias de 2 a 11 GHz |
| 802.16 b/c    | Interoperabilidad y certificación de especificaciones                                                                                                                                                                                        |
| 802.16d       | Comienza en Junio 24, 2004. Mejora el 802.16a con sub canalizaciones OFDM, formación de haces, etc<br>Agrega las especificaciones operativas de 2 a 11 GHz                                                                                   |
| 802.16e       | Está en proceso para fines del 2004 o principios del 2005. Agrega movilidad al 802.16d. Proporciona Handoff y mecanismos de ahorro de potencia.                                                                                              |
| 802           | Grupo de Estudio de Handoff y de Roaming                                                                                                                                                                                                     |
| 802.16.2 & 2a | Coexistencia de sistemas de Banda Ancha, 10 a 66 GHz y 2 a 11 GHz                                                                                                                                                                            |

**Tabla A.1.6 Grupo de Estándares (Fuente: IEEE)**

### A.1.7 Roadmap de la Tecnología

Las próximas planificaciones para el proyecto o roadmap del producto según estimaciones de los principales fabricantes son:

- El estándar **802.16a** comenzó en el **2004** como un sistema **Pre-WiMax fijo de exterior**, aún sin certificación del Forum WiMax. La operación es en las frecuencias 5.8, 2.5, 3.5 GHz. Las aplicaciones para empresas con servicios E1/T1, como respaldo para Hotspots y acceso de banda ancha limitado para los hogares. El CPE o terminal de usuario es una caja externa conectada al PC **con antena externa**.
- En el primer trimestre del año **2005**, **Intel** planea fabricar Chips compatibles con esta tecnología.
- Para el segundo y tercer trimestre del **2005**, deberían ya salir productos **certificados por WiMax Forum**.
- Durante el **2005**, se espera tener el estándar **802.16 REVd** para uso fijo en interiores operando en las frecuencias 2.5, y 3.5 GHz. Las aplicaciones son para acceso de banda ancha en interiores para usuarios residenciales y aplicaciones fijas para Internet. El CPE es una caja externa conectada al PC **con antena incorporada**.
- En el año **2006**, se ha planificado el estándar **802.16e** el cual se piensa que será totalmente nómada. Sus frecuencias serán definidas en 2.5, 3.5,

5.8 GHz. Las aplicaciones serán de acceso a banda ancha “Portable” o móviles para los usuarios y siempre estarán conectados, además de las aplicaciones a computadores personales Laptops y Desktops. El CPE será una tarjeta PC auto instalada e incorporada con el procesador del PC en el laptop.

- En el año **2007**, se pretenden tener los primeros PDA's y teléfonos móviles compatibles, todo dependiendo de cómo avance el estándar **802.16e**.

### A.1.8 Comparación con otros estándares 802.XX

La Tabla A.1.7 muestra una comparación general de características técnicas entre el WiFi, WiMax y MWBA (Mobile Wireless Broadband Access o 802.20 en estudio por el IEEE).

**Tabla 1.7**

|                              | <b>802.11</b>                                | <b>802.16</b>                                           | <b>802.16a</b>                                         | <b>802.16e</b>                              | <b>802.20</b>                        |
|------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Estado</b>                | Completo                                     | Dic 2001                                                | Ene. 2003                                              | ETA Sept. 2004                              | ETA '05-06                           |
| <b>Orientación</b>           | LAN                                          | MAN                                                     | MAN                                                    | MAN                                         | WAN                                  |
| <b>Alcance</b>               | Hasta 100 m. Optimizado para LAN de interior | Hasta 8 Km. Radio de la celda promedio entre 1.6-4.8 Km | Hasta 50 Km Radio de la celda promedio entre 6.5-10 Km | Radio de la celda promedio entre 1.6-4.8 Km | Celular                              |
| <b>Condiciones del canal</b> | LOS en exterior                              | LOS                                                     | Cercano a LOS                                          | NLOS                                        | NLOS                                 |
| <b>Espectro</b>              | 2.4 GHz y 5 GHz, no licenciado               | 10-66 GHz Licenciado                                    | 2-11 GHz Licenciado y no Licenciado                    | 2-6 GHz Licenciado y no Licenciado          | <3.5 GHz Licenciado                  |
| <b>Movilidad</b>             | Portable y Roaming local                     | Fijo                                                    | Fijo                                                   | Movilidad pedestre y Roaming Regional       | Movilidad vehicular y Roaming Global |



|                             |                     |                              |                              |                                             |                     |
|-----------------------------|---------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------|---------------------|
| <b>Canalización</b>         | 20 MHz              | Escalable entre 1.5 y 20 MHz | Escalable entre 1.5 y 20 MHz | Escalable entre 1.5 y 5 MHz sin sub canales | 1.25 o 5 Mhz        |
| <b>Eficiencia espectral</b> | < 2.7 bps/Hz        | < 4.8 bps/Hz                 | < 3.75 bps/Hz                | < 3 bps/Hz                                  | < 1.25 bps/Hz       |
| <b>Tasa de Bits</b>         | 54 Mbps (20 MHz BW) | < 134 Mbps (28 MHz BW)       | < 75 Mbps (20 MHz BW)        | 15 Mbps (5 MHz BW)                          | < 6 Mbps (5 MHz BW) |

**Tabla A.1.7 Comparación entre estándares 802.XX (Fuente: INTEL)**

Como se mencionó anteriormente, el tamaño de los canales en los cuales puede trabajar la tecnología 802.16a, es flexible entre **1.5 MHz y 20 MHz**.

De acuerdo con los estudios del IEEE, las canalizaciones para el estándar 802.16 son establecidas considerando los siguientes aspectos técnicos: (ver <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16a-2003.pdf>)

La frecuencia central del canal seguirá la formula siguiente:

$$\text{Frecuencia central del canal (MHz)} = 5000 + 5 \text{ } nch$$

Donde ***nch*** = 0,1,...199.

Esta definición proporciona un octeto único como sistema de numeración para todos los canales, con 5 MHz de espaciamento, desde 5 GHz a 6 GHz, lo cual proporciona flexibilidad para definir la canalización para actuales y futuras regulaciones.

En la Figura A.1.9 se muestra la canalización para 20 MHz listado en la Tabla A.1.8. La canalización ha sido definida para ser compatible con el estándar IEEE 802.11a con el propósito de disminuir la interferencia, aún cuando de esto resulte una menor eficiencia espectral en el medio de la banda U-NII (Unlicensed National Information Infrastructure).

**Tabla A.1.8**

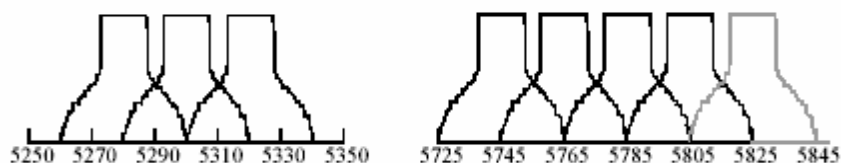
| Regulación | Banda (GHz)                                | Canalización (MHz) 20                            | Canalización (MHz) 10                                                                             |
|------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| USA        | En medio de U-NII<br>5.25 – 5.35           | 56, 60, 64                                       | 55, 57, 59, 61, 63, 65, 67                                                                        |
| USA        | Sobre U-NII<br>5.725 – 5.825               | 149, 153, 157, 161, 165 <sup>a</sup>             | 148, 150, 152, 154, 156, 158, 160, 162, 164 <sup>a</sup> , 166 <sup>a</sup>                       |
| Europa     | CEPT Banda B <sup>b</sup><br>5.47 – 5.725  | 100, 104, 108, 112, 116, 120, 124, 128, 132, 136 | 99, 101, 103, 105, 107, 109, 111, 113, 115, 117, 119, 121, 123, 125, 127, 129, 131, 133, 135, 137 |
| Europa     | CEPT Banda C <sup>b</sup><br>5.725 – 5.875 | 148, 152, 156, 160, 164, 168                     | 147, 149, 151, 153, 155, 157, 159, 161, 163, 165, 167, 169                                        |

Nota:

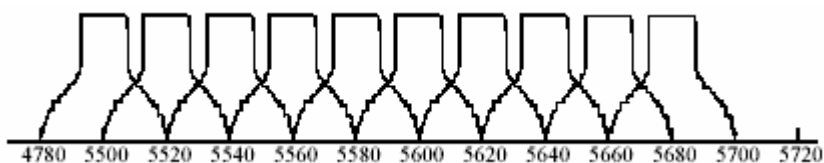
a: ver CFR 47 Parte 15.247.

b: Algunas regulaciones actuales no permiten éste estándar para que sea operado en la banda indicada.

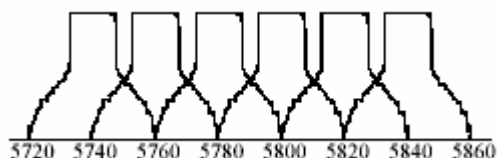
**Table A.1.8 Canalizaciones (Fuente: IEEE)**



**Figura A.1.7 Banda media y superior a U-NII. (Fuente: IEEE)**



**Figura A.1.8 CEPT, 5GHz, banda B (Fuente: IEEE)**



**Figura A.1.9 Canalización con 20 MHz (Fuente: IEEE)**

### A.1.9 Canalización aplicable a sistemas entre 2 y 11 GHz

La Tabla A.1.9, indica las bandas de frecuencias, y sus espaciamentos de canal permitidos, donde la Capa Física del 2-11 GHz puede ser aplicable, de acuerdo con el estándar IEEE 802.16a versión 2003, titulada "Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems Amendment 2: Medium Access Control Modifications and Additional Physical Layer Specifications for 2–11 GHz".

**Tabla A.1.9**

| Frequency bands (GHz)<br>(licensed unless noted) |             | Allowed channel spacing                                                                                                                         | Reference                                                                                                   |
|--------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2.305–2.320<br>2.345–2.360                       |             | 1 or 2 x (5 + 5 MHz) or 1 x 5 MHz<br>(Can be aggregated in any combinations) Interference Protection to DARS                                    | USA CFR 47 part 27 (WCS) See FCC Docket IB95-91 for potential (increased) interference from DARS repeaters. |
| 2.150–2.162<br>2.500–2.690                       |             | 125 kHz to (n x 6) MHz<br>Single or multiple, contiguous or non-contiguous and combinations.<br>Interference Protection to video and ITFS users | USA CFR 47 part 21.901 (MDS)<br>USA CFR 47 part 74.902 (ITFS, MMDS)                                         |
| 2.150–2.160<br>2.500–2.596<br>2.686–2.688        |             | 1 MHz – (nx6) MHz (1 or 2-way)<br>25 kHz-(n x 25 kHz) "return"<br>Contiguous channels preferred                                                 | Canada SRSP-302.5 (MCS)<br>MDS service allocated to adjacent sub-bands (incl. separate "return" channels)   |
| 2.400–2.483.5<br>(license-exempt)                |             | Frequency Hopping or Direct Sequence Spread Spectrum etc.                                                                                       | CEPT/ERC/REC 70-03<br>USA CFR 47 Part 15, subpart E [B19]                                                   |
| 3.400–4.990                                      | 3.410–4.200 | 1.75–30 MHz paired with<br>1.75 MHz to 30 MHz<br>Symmetric only.<br>(50 MHz or 100 MHz separation)                                              | Rec. ITU-R F.1488 Annex II<br>ETSI EN 301 021[B18],<br>CEPT/ERC Rec. 14-03 E, CEPT/ERC Rec. 12-08 E         |
|                                                  | 3.400–3.700 | n x 25 MHz (single or paired)<br>(50 MHz or 100 MHz separation if paired)                                                                       | Rec. ITU-R F.1488 Annex I<br>CITEC PCC.III/REC.47 (XII-99)<br>Canada SRSP-303.4 (BWA)                       |
|                                                  | 3.650–3.700 | Rulemaking in progress                                                                                                                          | USA FCC Docket WT00-32                                                                                      |
|                                                  | 4.940–4.990 | Rulemaking in progress                                                                                                                          | USA FCC Dockets WT00-32 and ET-98-237                                                                       |

| Frequency bands (GHz)<br>(licensed unless noted) |              | Allowed channel spacing                                                          | Reference                                                                  |
|--------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 5.150–5.850<br>(license-exempt)                  | 5.150–5.350  | n x 20 MHz (HIPERLAN)<br>Restricted to Indoor Use                                | CEPT/ERC/REC 70-03                                                         |
|                                                  | 5.470–5.725  | n x 20 MHz (HIPERLAN)                                                            |                                                                            |
|                                                  | 5.250–5.350  | 100 MHz Max.<br>Restricted to Indoor Use                                         | USA CFR 47 Part 15, subpart E [B19]<br>USA CFR 47 Part 15, subpart C [B19] |
|                                                  | 5.250–5.350  | 100 MHz Max                                                                      |                                                                            |
|                                                  | 5.725 –5.850 | 125 MHz Max                                                                      |                                                                            |
| 10.000–10.680                                    |              | 3.5 to 28 MHz paired with<br>3.5 to 28 MHz. Symmetric only<br>350 MHz separation | CEPT/ERC/REC. 12-05<br>ETSI EN 301 021 [B18]                               |

**Tabla A.1.9.Bandas de Frecuencias y la canalización en 2-11 GHz  
(Fuente: IEEE)**

**Tabla A.1.10**

| BW<br>(MHz)             |      | OFDM ( $N_{FFT} = 256$ ) |                  |                |                |                 |                 |
|-------------------------|------|--------------------------|------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
|                         |      | $\Delta f(kHz)$          | $T_b(\mu s)$     | $T_g(\mu s)$   |                |                 |                 |
|                         |      |                          |                  | $T_b/32$       | $T_b/16$       | $T_b/8$         | $T_b/4$         |
| MMDS ( $f_s/BW = 7/6$ ) | 1.5  | $6\frac{51}{61}$         | $146\frac{2}{7}$ | $4\frac{4}{7}$ | $9\frac{1}{7}$ | $18\frac{2}{7}$ | $36\frac{4}{7}$ |
|                         | 3.0  | $13\frac{43}{64}$        | $73\frac{1}{7}$  | $2\frac{2}{7}$ | $4\frac{4}{7}$ | $9\frac{1}{7}$  | $18\frac{2}{7}$ |
|                         | 6.0  | $27\frac{11}{32}$        | $36\frac{4}{7}$  | $1\frac{1}{7}$ | $2\frac{2}{7}$ | $4\frac{4}{7}$  | $9\frac{1}{7}$  |
|                         | 12.0 | $54\frac{11}{16}$        | $18\frac{2}{7}$  | $\frac{4}{7}$  | $1\frac{1}{7}$ | $2\frac{2}{7}$  | $4\frac{4}{7}$  |
|                         | 24.0 | $109\frac{3}{8}$         | $9\frac{1}{7}$   | $\frac{2}{7}$  | $\frac{4}{7}$  | $1\frac{1}{7}$  | $2\frac{2}{7}$  |
| ETSI ( $f_s/BW = 8/7$ ) | 1.75 | $7\frac{13}{16}$         | 128              | 4              | 8              | 16              | 32              |
|                         | 3.5  | $15\frac{5}{8}$          | 64               | 2              | 4              | 8               | 16              |
|                         | 7.0  | $31\frac{1}{4}$          | 32               | 1              | 2              | 4               | 8               |
|                         | 14.0 | $62\frac{1}{2}$          | 16               | $\frac{1}{2}$  | 1              | 2               | 4               |
|                         | 28.0 | 125                      | 8                | $\frac{1}{4}$  | $\frac{1}{2}$  | 1               | 2               |

| BW<br>(MHz)            |      | OFDM ( $N_{FFT} = 256$ ) |                   |                  |                  |                   |                   |
|------------------------|------|--------------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
|                        |      | $\Delta f(kHz)$          | $T_b(\mu s)$      | $T_g(\mu s)$     |                  |                   |                   |
|                        |      |                          |                   | $T_b/32$         | $T_b/16$         | $T_b/8$           | $T_b/4$           |
| WCS ( $f_s/BW = 7/6$ ) | 2.5  | $11\frac{35}{89}$        | $87\frac{27}{35}$ | $2\frac{26}{35}$ | $5\frac{17}{35}$ | $10\frac{34}{35}$ | $21\frac{33}{35}$ |
|                        | 5.0  | $22\frac{70}{89}$        | $43\frac{31}{35}$ | $1\frac{13}{35}$ | $2\frac{26}{35}$ | $5\frac{17}{35}$  | $10\frac{34}{35}$ |
|                        | 10.0 | $45\frac{55}{96}$        | $21\frac{33}{35}$ | $\frac{24}{35}$  | $1\frac{13}{35}$ | $2\frac{26}{35}$  | $5\frac{17}{35}$  |
|                        | 15.0 | $68\frac{23}{64}$        | $14\frac{22}{35}$ | $\frac{16}{35}$  | $\frac{32}{35}$  | $1\frac{29}{35}$  | $3\frac{23}{35}$  |

**Tabla A.1.10 Parámetros de canalización OFDM para Bandas Licenciadas  
(Fuente: IEEE)**

Las Tablas A.1.10 y A.1.11 desarrolladas en el IEEE muestran los parámetros principales para diferentes anchos de banda al utilizar 256 OFDM y 2048 OFDMA

**Tabla A.1.11**

| BW<br>(MHz)             |      | OFDMA ( $N_{FFT} = 2048$ ) |                   |                  |                 |                   |                   |
|-------------------------|------|----------------------------|-------------------|------------------|-----------------|-------------------|-------------------|
|                         |      | $\Delta f(kHz)$            | $T_b(\mu s)$      | $T_g(\mu s)$     |                 |                   |                   |
|                         |      |                            |                   | $T_b/32$         | $T_b/16$        | $T_b/8$           | $T_b/4$           |
| MMDS ( $f_s/BW = 8/7$ ) | 1.5  | $36\frac{36}{43}$          | $1194\frac{2}{3}$ | $37\frac{1}{3}$  | $74\frac{2}{3}$ | $149\frac{1}{3}$  | $298\frac{2}{3}$  |
|                         | 3.0  | $1\frac{60}{89}$           | $597\frac{1}{3}$  | $18\frac{2}{3}$  | $37\frac{1}{3}$ | $74\frac{2}{3}$   | $149\frac{1}{3}$  |
|                         | 6.0  | $3\frac{8}{23}$            | $298\frac{2}{3}$  | $9\frac{1}{3}$   | $18\frac{2}{3}$ | $37\frac{1}{3}$   | $74\frac{2}{3}$   |
|                         | 12.0 | $6\frac{39}{56}$           | $149\frac{1}{3}$  | $4\frac{2}{3}$   | $9\frac{1}{3}$  | $18\frac{2}{3}$   | $37\frac{1}{3}$   |
|                         | 24.0 | $13\frac{11}{28}$          | $74\frac{2}{3}$   | $2\frac{1}{3}$   | $4\frac{2}{3}$  | $9\frac{1}{3}$    | $18\frac{2}{3}$   |
| ETSI ( $f_s/BW = 8/7$ ) | 1.75 | $83\frac{83}{85}$          | 1024              | 32               | 64              | 128               | 256               |
|                         | 3.5  | $1\frac{61}{64}$           | 512               | 16               | 32              | 64                | 128               |
|                         | 7.0  | $3\frac{29}{32}$           | 256               | 8                | 16              | 32                | 64                |
|                         | 14.0 | $7\frac{13}{16}$           | 128               | 4                | 8               | 16                | 32                |
|                         | 28.0 | $15\frac{5}{8}$            | 64                | 2                | 4               | 8                 | 16                |
| BW<br>(MHz)             |      | OFDMA ( $N_{FFT} = 2048$ ) |                   |                  |                 |                   |                   |
|                         |      | $\Delta f(kHz)$            | $T_b(\mu s)$      | $T_g(\mu s)$     |                 |                   |                   |
|                         |      |                            |                   | $T_b/32$         | $T_b/16$        | $T_b/8$           | $T_b/4$           |
| WCS ( $f_s/BW = 8/7$ )  | 2.5  | $1\frac{32}{81}$           | $714\frac{4}{5}$  | $22\frac{2}{5}$  | $44\frac{4}{5}$ | $89\frac{3}{5}$   | $179\frac{1}{5}$  |
|                         | 5.0  | $2\frac{64}{81}$           | $358\frac{2}{5}$  | $11\frac{1}{5}$  | $22\frac{2}{5}$ | $44\frac{4}{5}$   | $89\frac{3}{5}$   |
|                         | 10.0 | $5\frac{47}{81}$           | $179\frac{1}{5}$  | $5\frac{3}{5}$   | $11\frac{1}{5}$ | $22\frac{2}{5}$   | $44\frac{4}{5}$   |
|                         | 15.0 | $8\frac{10}{27}$           | $119\frac{7}{15}$ | $3\frac{11}{15}$ | $7\frac{7}{15}$ | $14\frac{14}{15}$ | $29\frac{13}{15}$ |

**Tabla A.1.11 Parámetros de canalización OFDMA para Bandas Licenciadas  
(Fuente: IEEE)**

### A.1.10 Estándares adoptados

La evolución de las tecnologías inalámbricas desde el punto de vista del IEEE de USA y del grupo estandarizador de Europa ETSI, y con el fin de evitar confusiones en sus conceptualizaciones, el siguiente diagrama muestra el alcance de este tipo de tecnologías.

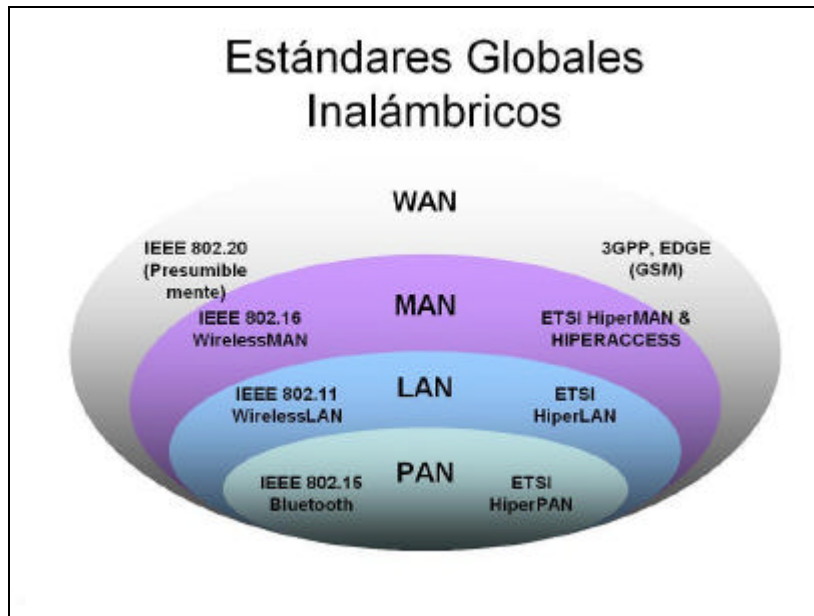


Figura A.1.10 Estándares Globales Inalámbricos (Fuente: IEEE)

Las frecuencias a las cuales se prevé la operación de esta tecnología se exponen en la siguiente Figura A.1.11, complementando el esquema mostrado en la Tabla A.1.7

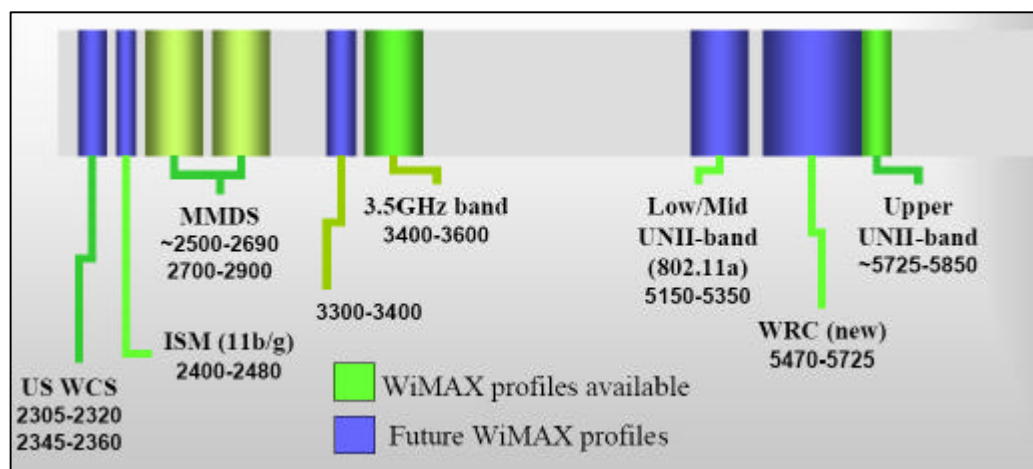


Figura A.1.11 Espectros de Frecuencias (Fuente: IEEE)

De acuerdo con la Figura A.1.11, las **bandas disponibles** a mediados del presente año 2004 para WiMax, serían **3400 a 3600 MHz y 5725 a 5850 MHz**, lo cual dista de existir equipos certificados por el Forum WiMax.

El resto de frecuencias indicadas en la Figura A.1.11, se refieren a futuros desarrollos según los grupos de trabajo del IEEE.

Para información sobre frecuencias intermedias, ver Tabla A.1.9.

### A.1.11 Aplicaciones y Servicios

En BWA, las aplicaciones incluyen:

- Acceso de banda ancha residencial – DSL - nivel de servicio para negocios pequeños y SOHO.
- Servicios a nivel de T1/E1 para empresas.
- Soporte para voz, datos y video.
- Respaldos inalámbricos para hot spots y respaldo para interconexión de torres celulares, entre otras.

#### A.1.11.1 Plataformas en las que puede trabajar

Con esta tecnología y dependiendo del estándar que se quiera ocupar es posible dar acceso a la transmisión de datos de tres formas muy diferentes, usando:

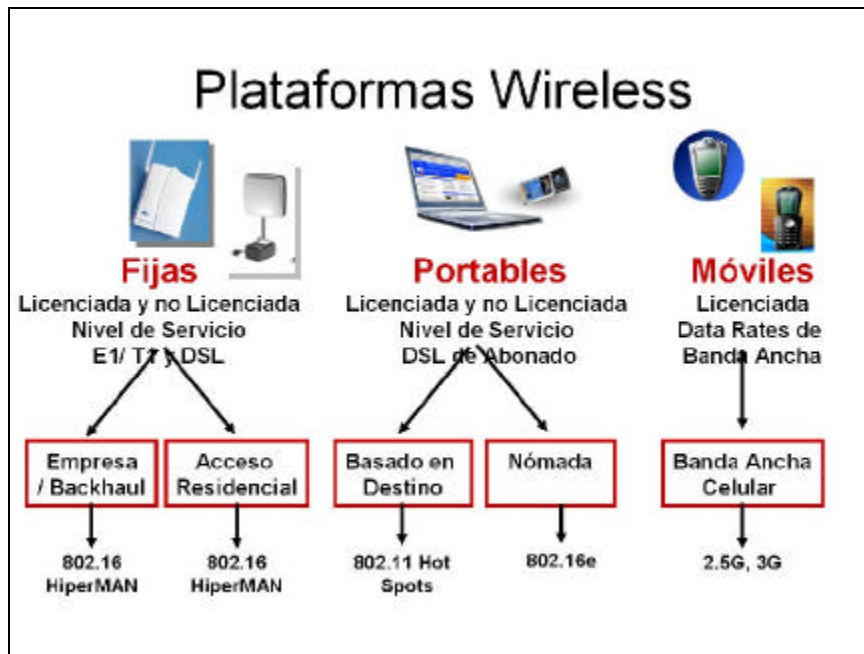
- o **Tecnologías fijas**
- o **Portátiles, y**
- o **Móviles**

En la forma de comunicación fija, esta tecnología da la posibilidad de operar como un **BackHaul de alguna red**, tal como lo hacen una trama E1 o una T1, o bien, como un acceso de Internet, tal como un DSL para abonados particulares.

Mientras tanto, a las aplicaciones portátiles es posible dar un **acceso a Internet a medios no fijos** (Lap Tops), con capacidades más altas que un DSL actual.

Para los móviles se podrá dar **acceso a banda ancha** a dispositivos como PDA's y teléfonos celulares, pero a partir del año 2006 donde se piensa que esta tecnología tendrán el auge.

Para entender mejor estos conceptos, se muestra la siguiente Figura A.1.12:



**Figura A.1.12 Plataformas Wireless donde se incluye la operación del estándar 802.16a como 802.16 HiperMAN (Fuente: IEEE)**

En las siguientes Figuras A.1.13, A.1.14 y A.1.15, se muestran los diagramas de aplicaciones de cada una de las plataformas en las que puede o podría trabajar esta tecnología.



**Figura A.1.13 Diagrama de Bloques Backhaul para Empresas Wimax (Fuente: IEEE)**



## Última Milla de Abonado WiMAX

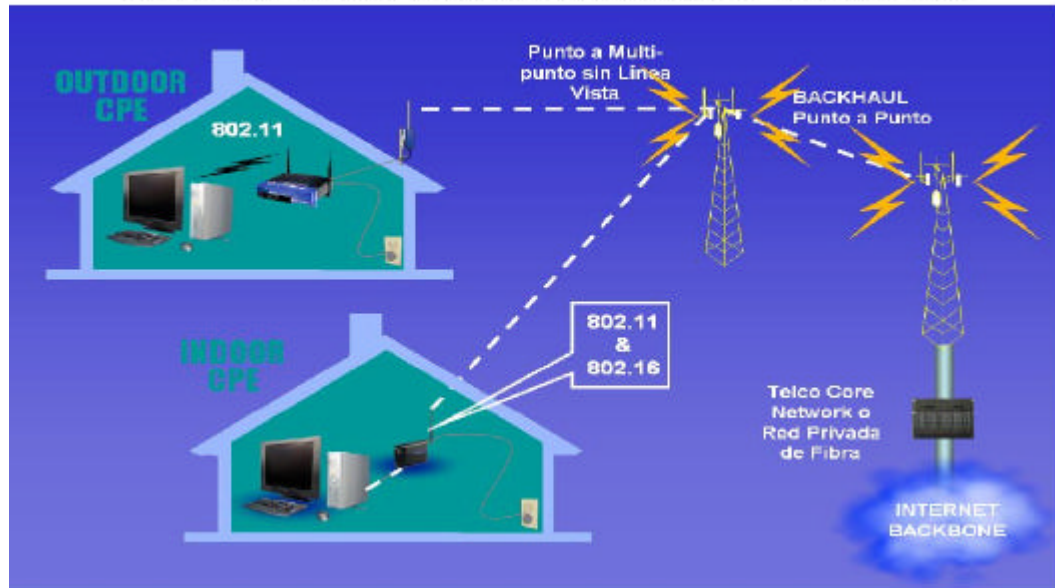


Figura A.1.14 Diagrama de Bloques Última Milla Abonado WiMAX  
(Fuente: IEEE)

## Nómada / Portable WiMAX



Figura A.1.15 Diagrama de Bloques Sistemas Nómada y Portátil WiMAX  
(Fuente: IEEE)

### A.1.12 Principales Fabricantes

Entre los principales fabricantes de equipos participantes en el Forum WiMax, podemos mencionar los siguientes:

**Tabla 3.10**

Airspan Networks  
Alcatel  
Alvarion  
Aperto Networks  
Fujitsu  
Intel Corporation  
K & L Microwave  
L3 PrimeWave  
LCC  
mmWave Technologies  
Motorola  
Navini  
P-Com  
Proxim  
SGS Taiwan Ltd.  
Shenzhen Powercom  
Siemens Mobile  
Wavesat Wireless Inc.  
WiLan  
XO Communications  
ZTE Corporation

**Tabla A.1.12 Fabricantes de equipos (Fuente: WiMax Forum)**

### A.1.13 Costos Referenciales y Proyectos WiMax

Alvarion, Intel y Millicom Argentina preparan lanzamiento de WiMax en Argentina, utilizando equipos no certificados por el Forum WiMax

De acuerdo con las informaciones publicadas por algunas empresas interesadas en empujar esta tecnología, podemos comentar que **Millicom Argentina**, el fabricante de chips **Intel** y el proveedor israelí **Alvarion** planean

lanzar en Septiembre 2004 un programa piloto de **WiMax**, que se extenderá hasta Diciembre 2004.

Los tres socios creen que ésta será la primera red WiMax de Latinoamérica, pero Millicom aún tiene que decidir exactamente dónde la instalará.

La empresa ya opera redes de banda ancha inalámbrica suministradas por Alvarion, cuya tecnología ha evolucionado hasta alcanzar los estándares que incluye el término WiMax.

Dichos estándares no certificados por el Forum WiMax, comprenden un radio de cobertura de **30 km con una velocidad de conexión de 2 Mb/s** que se mantiene en toda el área de cobertura.

El objetivo final de Wimax es permitir una completa movilidad para computadores portátiles y PDA, para los cuales hoy en día el acceso a banda ancha inalámbrica se limita a conexiones Wi-Fi que operan en un radio de 10 metros.

Por otra parte, WiMax permitiría a la compañía utilizar de mejor manera el espectro que su actual red CDMA de circuito local inalámbrico (WLL) que opera en el espectro de 3,5 GHz. Cabe señalar que ésta red CDMA cubre 28 ciudades, incluyendo el área metropolitana de Buenos Aires, y presta servicios a unos 6.500 clientes, pero los límites de espectro significan que la capacidad potencial total es de sólo 10.000 usuarios en la actualidad. Además, WiMax mejoraría la calidad del servicio eliminando el requerimiento de visibilidad directa de la red CDMA.

Según la información de éstos fabricantes, los actuales precios bordean los **US\$50.000 para una estación base** y hasta **US\$700 para equipamiento de clientes**, en comparación con los cerca de **US\$60** para los equipos CDMA.

A modo de comparación, bajo estas condiciones de cobertura y baja capacidad un enlace de Microondas punto a punto tiene un precio FOB cercano a los USD20.000 FOB con antena de 1,2 metros de diámetro y estructura 4\*2 Mbps, lo cual solo es comparable con el WiMax si se desea atender a un usuario. Para casos multiusuarios, la solución Punto a Punto suele ser muy cara.

Sin embargo, se espera que WiMax sea más accesible a partir de **Enero del 2005**, cuando la firma estadounidense de TI Intel lance un microchip WiMax.

Se estima que a partir del **2006**, el costo para los usuarios por equipamiento WiMax, estará entre US\$300 y US\$400. Al **2007**, el costo por cliente será menos de US\$240. Además, el costo de equipos por clientes mejorará en el 2006/07 a medida que WiMAX emerja como una solución para notebooks y PDAs, entregando verdadera banda ancha inalámbrica. Por el **2008**, el costo por cliente será reducido a menos de US\$80.

## Websky prepara lanzamiento de WiMax en Argentina y Perú

El fabricante estadounidense de sistemas de banda ancha inalámbrica **WebSky** y su filial peruana **Digital Way** se están preparando para desplegar un sistema de última generación **WiMax en Lima**, igualmente al caso anterior, con equipos aún no certificados por el Forum WiMax.

Digital Way ya ofrece servicios de banda ancha y larga distancia en el área de Lima, con 4.000 de conexiones activas. Las empresas esperan que todos sus clientes actuales finalmente migren al sistema solución sin visibilidad directa WiMax.

Websky y Digital Way recientemente estudiaron las oportunidades para ampliar su servicio de Internet de banda ancha a otras ciudades peruanas y seleccionaron a Cuzco como el primer punto de expansión fuera de Lima.

El mercado de internet de Perú está subdesarrollado, con 3,3 millones de usuarios, principalmente residentes en Lima, y un crecimiento anual estimado en 18%.

**Websky** se está preparando además para lanzar una operación WiMax en **Argentina a través de otra filial, Infotel**.

Con respecto a costos, Websky no ha dejado ver estrategias al respecto, dado que se espera que esta tecnología baje sus precios a costos alcanzables por los usuarios y capaces de interesar su utilización en forma masiva, por otra parte, el tema precios es muy sensible en un ambiente de alta competencia entre proveedores.

### A.1.14 Conclusiones WiMax

WiMax es el estándar emergente más importante del IEEE en vías de ser certificado por el Forum WiMax y en vías de ser ratificado por los cuerpos reguladores internacionales. Su mayor impacto se deberá en gran parte al Wi-Fi que ha creado el interés y aceptación en el mercado de redes inalámbricas. Pero el efecto de esta tecnología en el mundo de los negocios, Internet del consumidor y acceso inalámbrico se estima que será mucho más profundo.

En un período de 5 años se espera que WiMax sea la tecnología dominante para redes inalámbricas. Para ese entonces será completamente móvil al igual que podrá proporcionar acceso de banda ancha de bajo costo en nuevas regiones donde el acceso a Internet no ha podido ser práctico hasta ahora.

Como los operadores celulares cambian a sistemas basados en IP de cuarta generación de móviles (4G), se apoyarán en la tecnología WiMax, tanto como lo están haciendo con la tecnología más limitada conocida como Wi-Fi.

Para países en desarrollo de tecnología como China, WiMax se convertirá en la solución dominante para el mercado potencial, considerando los millones de usuarios de banda ancha.

El desempeño de Wi-Fi y 802.11 regresará a su lugar correcto como una útil aunque limitada tecnología de área local completamente integrada con WiMax.

Intel, Nokia y los grandes fabricantes están efectuando grandes inversiones para el futuro del mundo de telecomunicaciones, dado a que reconocieron la gran importancia del WiMax que gracias a su más alta eficiencia en la transmisión de datos y su mucho menor costo de infraestructura comparado con las tecnologías actuales se convertirá en un estándar muy demandado. Esto asegurará la interacción entre los productos de diferentes marcas.

Es probablemente el primer estándar de telecomunicaciones universal, en sentido de ser aplicable a mayor cantidad de usuarios y cubriendo mayores distancias, en el cual han sido eliminadas las diferencias entre regiones e industrias. La empresa Intel considera a este estándar como “el hecho más importante desde la aparición del mismo Internet”.

Se estima que WiMax es el único estándar que permitirá realmente por primera vez banda ancha inalámbrica universal y será la tecnología más significativa hasta la fecha en dar acceso inalámbrico en todas partes, mientras que se abre un espectro más libre en crear mayor movimiento en el sector de comunicaciones inalámbrico y móvil.

Un resumen de las principales características técnicas y comerciales de WiMax, son las siguientes:

- **Rendimiento mayor para grandes distancias (hasta 50 km)**
  - Mejor bits/segundos/Hz para largas distancias.
- **Sistema con capacidad escalable**
  - Fácil agregación de canales maximizando la capacidad de las celdas
  - Ancho de banda del canal es flexible para acomodar las designaciones de espectro, tanto para bandas Licenciadas como NO Licenciadas.
- **Cobertura**
  - Estándar basado en topología de enmallamiento y soporte de antenas inteligentes Smart.
  - Modulación Adaptativa habilita la negociación de ancho de banda de acuerdo con el alcance y cobertura.

- **Calidad de Servicio**
  - MAC Otorga/Requiere: soporte para voz y video
  - Nivel de Servicios Diferenciados: E1/T1 para negocios; y mejor esfuerzo para el sector residencial.
- **Riesgo de Costo e Inversión**
  - Interoperación de equipos permite a los operadores comprar nuevos equipos desde más de un proveedor que sea Certificado por el Forum WiMax.
  - Plataformas basadas en estándares, mejora el OpEx (Operational Expenses) por innovaciones a través del ecosistema formado por Radio, Network Management, Antenas, y Servicios.

## A.2 Tecnología FSO (Free Space Optics)

### Resumen

Actualmente, el problema de la “última milla” permanece sin una solución muy clara que considere el costo efectivo de una red, lo que es el gran dilema de las telecomunicaciones mundiales. Sin embargo existen varias aproximaciones para atacar el problema, tales como:

- DSL y cable módems para algunas extensiones, pueden tomar ventaja sobre las existentes redes de cable; pero no pueden proporcionar verdaderos servicios de banda ancha de una manera determinística. La tecnología DSL está limitada en distancia desde la central y en capacidad en varios Mbps. Los cables módems poseen una capacidad mayor pero aún el canal es compartido y la cantidad de ancho de banda para cualquier time no es garantizada.
- Tecnologías inalámbricas de RF no licenciadas son también limitadas en capacidad y los operadores están poco dispuestos a instalar sistemas que pueden tener interferencias. Los sistemas licenciados pueden proporcionar muy alta capacidad, pero debido al CAPEX (Capital Expenditures o capital de inversión) necesario para obtener Licencias de Espectro en aquellos países donde se aplica la modalidad de subastas, generalmente hace que el modelo de negocios sea difícil de implementar.
- La tecnología Free-space optical (FSO) ofrece una capacidad óptica pero son típicamente desplegados en longitudes bajo un kilómetro para tener una disponibilidad razonable. FSO llega más rápido al mercado que la fibra, debido a que la fibra es construida entre 6 a 9 meses, mientras que un enlace FSO puede estar operacional en unos pocos días.

La tecnología de Ondas Milimétricas a 60 GHz es No Licenciada en los países desarrollados, debido a la absorción del oxígeno, y es capaz de ofrecer mayor capacidad que las frecuencias a longitudes de onda mas largas. Sin embargo es susceptible que el servicio sea cortado en las regiones de alta lluvia por lo que FSO es limitado en alcance alrededor de los 500 metros.

### A.2.1 Introducción a FSO

Un sistema “Free Space Optics”, también llamado acceso inalámbrico óptico, puede ser pensado como un sistema inalámbrico que utiliza luz infrarroja en vez de ondas de radio, o como un sistema de comunicación óptico que transmite luz láser punto a punto a través del aire, en vez de transmitir a través de una fibra óptica.

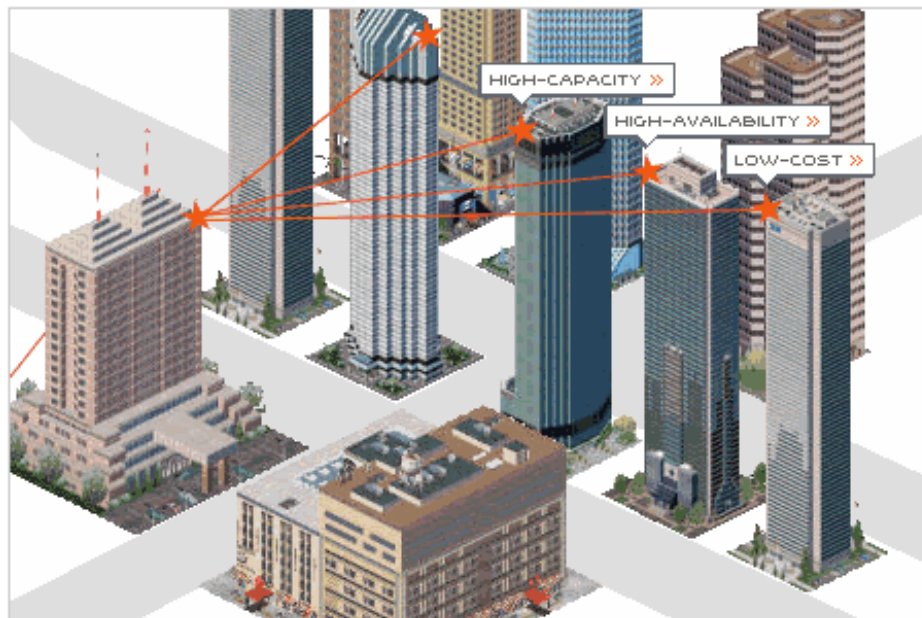
Distinto a los sistemas de radio y microondas, generalmente en los países desarrollados, no es necesario disponer de una licencia de espectro o una coordinación de frecuencia con otros usuarios, ya que la interferencia de un sistema a otro no es un problema a considerar y la señal láser transmitida punto a punto es extremadamente difícil de interceptar, por lo tanto, es bastante seguro.

Las tasas de transmisión de datos son comparables con los de la fibra óptica y pueden ser transportados con tasas de error muy bajas, mientras que el delgado haz láser asegura que sea posible ubicar múltiples transceptores sin peligro de interferencia mutua en cualquier punto.

En algunos países, la libertad que otorga el no tener que cumplir con regulaciones, ni obtener licenciamiento se traduce en facilidad, rapidez y bajo costo de despliegue.

Dado que los transceptores ópticos inalámbricos pueden transmitir y recibir detrás de ventanas, es posible montarlas dentro de edificios, reduciendo la necesidad de utilizar espacio en el techo, simplificando el cableado y permitiendo al equipo funcionar en un ambiente muy favorable. El único requerimiento esencial es que exista una línea vista entre los dos puntos del enlace.

Los beneficios principales de la tecnología FSO son los de ofrecer una alta capacidad a bajos costos y una alta disponibilidad, como se indica en la Figura A.2.1 siguiente.



**Figura A.2.1 Interconexión de edificios con FSO**  
(Fuente: <http://www.free-space-optics.org>)  
**A.2.2 Historia de los Sistemas Free Space Optics**



La madurez de la tecnología FSO es muchas veces subestimada, debido a una mala concepción acerca de hace cuanto tiempo los sistemas FSO han estado bajo desarrollo.

Históricamente, los sistemas de comunicación ópticos fueron demostrados por Alexander Graham Bell en el siglo XIX. El experimento de Bell convertía sonidos vocales en señales telefónicas y las transmitía entre receptores a través del aire junto con un haz de luz por una distancia cercana a los 200 metros. Este dispositivo experimental de Bell fue llamado fotófono.

A pesar que el fotófono de Bell nunca se convirtió en una realidad comercial, si demostró el principio básico de la comunicación óptica. Esencialmente toda la ingeniería de los sistemas FSO de hoy en día fue creada durante los últimos 40 años, principalmente para aplicaciones de defensa.

### A.2.3 Principio de Funcionamiento de la Tecnología FSO

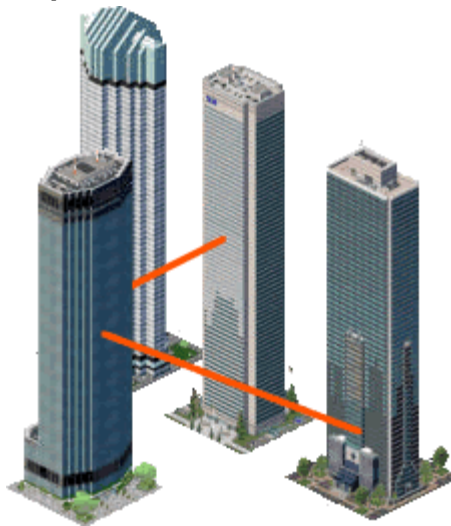
Free Space Optics (FSO), también llamados Free Space Photonics u Optical Wireless, se refieren a la transmisión de un haz infrarrojo modulado en la atmósfera de manera de obtener comunicaciones de banda ancha.

Los sistemas FSO pueden operar sobre distancias de varios kilómetros, mientras exista línea vista, y suficiente potencia de transmisión, como se muestra en la Figura A.2.2.

FSO transmite haces invisibles, entre los equipos transmisores y receptores utilizando láser infrarrojos de baja potencia en el espectro de los **tera Hertz o  $10^{12}$  Hertz**. Los haces de luz son transmitidos usando láser enfocado en un detector de fotones de alta sensibilidad.

Estos receptores son lentes telescópicos que son capaces de reunir el flujo de fotones y transmitir datos digitales que contienen una mezcla de mensajes de **Internet, imágenes de video, señales de radio o archivos de computador.**

Los sistemas comerciales disponibles hoy ofrecen capacidades desde **100 Mbps hasta 2,5 Gbps.**



**Figura A.2.2 Sistema con Línea de Vista entre Transmisor y Receptor**  
(Fuente: <http://www.free-space-optics.org>)

Igual como la fibra óptica, los FSO utilizan láser para transmitir datos, pero en vez de encerrar el flujo de datos dentro de fibra óptica, este flujo es transmitido a través del aire.

Distinto a los sistemas inalámbricos del pasado, FSO es completamente óptico, por lo que se obtiene la velocidad de la fibra sin los costos sustanciales de romper veredas para instalar un enlace de fibra.

La tecnología **FSO, en algunos países, no requiere de licencias gubernamentales para su operación**, y puede ser completamente desplegada en unas cuantas horas desde la disponibilidad del acceso línea vista. La transmisión no es afectada por la interferencia electromagnética.

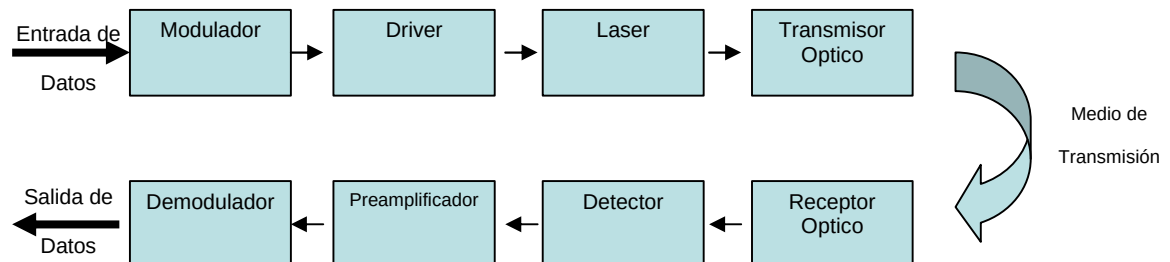
El concentrado rayo láser es extremadamente agudo para llegar a su destino y aún ser descubierto, debido a que no puede ser detectado por los analizadores de espectro.

Estos sistemas son compatibles con un amplio rango de aplicaciones y mercados, y son lo suficientemente flexibles para ser implementados utilizando variadas arquitecturas de sistemas.

FSO transmite un haz invisible, no dañino para la visión humana desde un transmisor con forma de “telescopio” a otro equipo similar, utilizando láser infrarrojos de baja potencia, en el espectro de los teraHertz, donde la capacidad puede razonablemente ser estimada en 10 Gbps. El haz de luz lleva cualquier señal de transmisión óptica, protocolo y trama que el fabricante desee, típicamente PDH, SONET/ATM y Ethernet de 10/100/1000 Mbps.

**A.2.4 Diagrama en Bloques del sistema FSO**

En la Figura A.2.3 se muestra un Diagrama de bloques del sistema FSO donde el transmisor es un Laser y el detector correspondiente es un Diodo de Avalancha (APD), con los cuales se interconectan los lados de transmisión y recepción.



**Figura A.2.3 Diagrama de Bloques de un sistema FSO**  
(Fuente: <http://www.freespaceoptics.com/AirFiber-Physics-FSO.pdf>)

## A.2.5 Características Técnicas Generales del sistema FSO

### A.2.5.1 Solución Híbrida Radio-FSO (HFR)

Una nueva solución para el problema de la “última milla” usa las fortalezas de dos tecnologías para disminuir mutuamente cada una de sus debilidades. La solución Híbrida Radio-FSO (HFR) combina las características ópticas del espacio libre y la tecnología de ondas milimétricas en 60 GHz (MMW) para proporcionar, inicialmente, una verdadera portadora inalámbrica (99.999%), redundante, sistema no licenciado en algunos países, capaz de alcanzar coberturas mayores que 1 km en **todas** las condiciones climáticas.

HFR está orientada a ser una tecnología rompedora de los mitos y que ayudará a terminar con el hecho que el ancho de banda de las portadoras es un activo propio de la fibra óptica.

### A.2.5.2 Limitaciones de Alcance en FSO

La ecuación de enlace para un sistema FSO es muy simple (dejando de lado las eficiencias ópticas, detectores de ruido, etc.). La ecuación 4.1, muestra que la cantidad de potencia recibida es proporcional a la cantidad de potencia transmitida y el área de apertura. Esto es inversamente proporcional al cuadrado de la divergencia del haz y el cuadrado del alcance del enlace.

La potencia recibida es también inversamente proporcional al producto exponencial del coeficiente de atenuación de la atmósfera (en unidades de 1/distancia) y al alcance del enlace.

$$P_{\text{recibida}} = P_{\text{transmitida}} * (A_{\text{recepción}} / (\text{Div} * \text{Alcance})^2) * \exp(-\alpha * \text{Alcance}) \quad (4.1)$$

Donde:

$A_{\text{recepción}}$  = Área de recepción

Div = Divergencia del Haz [en radianes]

$\alpha$  = Factor de atenuación de la atmósfera [1/km]

Alcance = Longitud del enlace [km]

El factor de atenuación  $\alpha$  es el exponente de la Ley de Beer, el cual domina completamente el comportamiento del sistema FSO en condiciones reales de la atmósfera para obtener el porcentaje de disponibilidad de la portadora.

Como se muestra en esta ecuación, las variables que pueden ser controladas son la potencia de transmisión, el tamaño de la apertura del receptor, la divergencia del haz y el alcance del enlace. El coeficiente de atenuación de la atmósfera es incontrolable en un medio ambiente de exterior, y es aproximadamente independiente de la longitud de onda en condiciones difíciles de atenuación.

Desafortunadamente, la potencia de recepción es exponencialmente dependiente del producto entre el coeficiente de extinción atmosférica  $K_i$  (el cual mide cómo la atmósfera reduce la intensidad de la luz proveniente de una fuente extraterrestre en la banda “i”), y el alcance. En situaciones atmosféricas reales y para productos de categoría (carrier-class), por ejemplo, con disponibilidad del 99,9% o mejor, este término  $K_i$  es muy importante.

Lo que significa que el diseñador del sistema puede elegir una enorme potencia de transmisión láser, diseño de grandes aperturas y emplear muy ajustadas divergencias del haz, aún así, la cantidad de potencia recibida permanecerá esencialmente sin cambio.

En condiciones de neblina, la componente de pérdidas atmosféricas de la ecuación del enlace domina enormemente cualquier elección de diseño del sistema que pudiera afectar la disponibilidad. Para conexiones que son propuestas para ser “carrier class” usando sistemas FSO, este hecho necesita ser aceptado y debe ser tomado en cuenta para el diseño de la red.

La otra variable bajo el control del diseñador es el alcance del enlace, el cual debe ser mantenido lo suficientemente corto para que la atenuación atmosférica no sea el término dominante en la ecuación del enlace. Esto implica que el alcance del enlace debe ser menor que **500 metros para la disponibilidad de “carrier-class”**.

Bajo estas restricciones, el diseño eficiente puede ser producido para que proporcione una operación económica y confiable.

### A.2.5.3 Atenuación por lluvia en 60 GHz

La ecuación del enlace para un sistema MMW puede ser escrita idénticamente al sistema FSO. Allí hay tres componentes de pérdidas:

- o Pérdidas de espacio libre
- o Pérdidas gaseosas
- o Pérdidas debido a dispersión particular debido a las precipitaciones.

Para FSO como se aplica en USA, las pérdidas de espacio libre son manejadas por la potencia de transmisión, tamaño de la apertura de recepción y divergencia del haz.

Los sistemas MMW a 60 GHz son limitados a potencias de salida de alrededor de **500 mW** (potencia total irradiada) para una operación libre de licencia.

Los diseñadores de sistemas son libres de elegir el tamaño de la antena, la cual generalmente lleva incorporada su ganancia. El tamaño de la antena determina la cantidad de energía MMW interceptada y determina la divergencia del haz, dado que el sistema es de difracción limitada.

La única absorción molecular gaseosa significativa a 60 GHz es el oxígeno, la cual es cercana a los 16 dB/km (cerca del nivel del mar), lo que atenúa la señal continuamente, independiente del clima.

La pregunta es, ¿por qué elegir esta longitud de onda si es limitada en alcance?

La respuesta es debido a los parámetros de **reutilización de frecuencia y a la factibilidad de tener una licencia libre de procesos adjudicatorios**.

Dado que la energía de MMW es absorbida fácilmente, ésta es una oportunidad de los sistemas para no interferir a otros.

Este hecho determinó en USA la decisión para permitir el uso de la banda de 60 GHz y para ser una tecnología **NO Licenciada**; por lo tanto **no necesita compartir espectro**, debido a la naturaleza de la atmósfera.

Para muchos sistemas de un tamaño razonable, con un diámetro de antena de alrededor de 33 cm., el alcance aéreo es cercano a los 1500 metros como se indica en la Tabla A.2.1 siguiente, con los parámetros del enlace para este caso particular, de acuerdo con los estudios realizados por AirFiber referencia [4].

**Tabla A.2.1**

**Ejemplo de Cálculo de Enlace**

|                                      |                     |                   |                 |
|--------------------------------------|---------------------|-------------------|-----------------|
| Potencia de Transmisión              | Pt                  | 10                | dBm             |
| Ganancia de Transmisión              | Gt                  | 43                | dBi             |
| Ganancia recibida                    | Gr                  | 43                | dBi             |
| Longitud de Onda                     | $\lambda$           | 0,005             |                 |
| Alcance                              | <b>Alcance</b>      | <b>1.500</b>      | <b>metros</b>   |
| Absorción de Oxígeno                 | Pérdidas en el Aire | 0.016             | metros          |
| Otras pérdidas                       | <b>Lluvia</b>       | <b>0</b>          | <b>dB/metro</b> |
| Potencia recibida                    | Pr                  | -59,52662237      | dBm             |
| Ruido igual a la Potencia de entrada | Nein                | -78,20381423      | dBm             |
| Señal a Ruido                        | S/N                 | 18,67719185       | dB              |
| Mínima S/N                           | Mínima S/N          | 18                | dB              |
| Margen                               | <b>Margen</b>       | <b>0,67719185</b> | <b>dB</b>       |
| Factor de Ruido                      | NF                  | 11                | dB              |
| Ancho de Banda                       | BW                  | 300               | MHz             |
| Temperatura                          | T°                  | 290               | °K              |
| Boltzmann                            | K                   | 1,3807E-23        | J/°K            |
|                                      | nein                | -78,20381423      | dBm             |

**Tabla A.2.1 El máximo alcance es de 1.500 metros debido a la absorción del oxígeno para un sistema de MMW a 60 GHz**  
(Fuente:<http://www.freespaceoptics.com/AirFiber-Physics-FSO.pdf>)

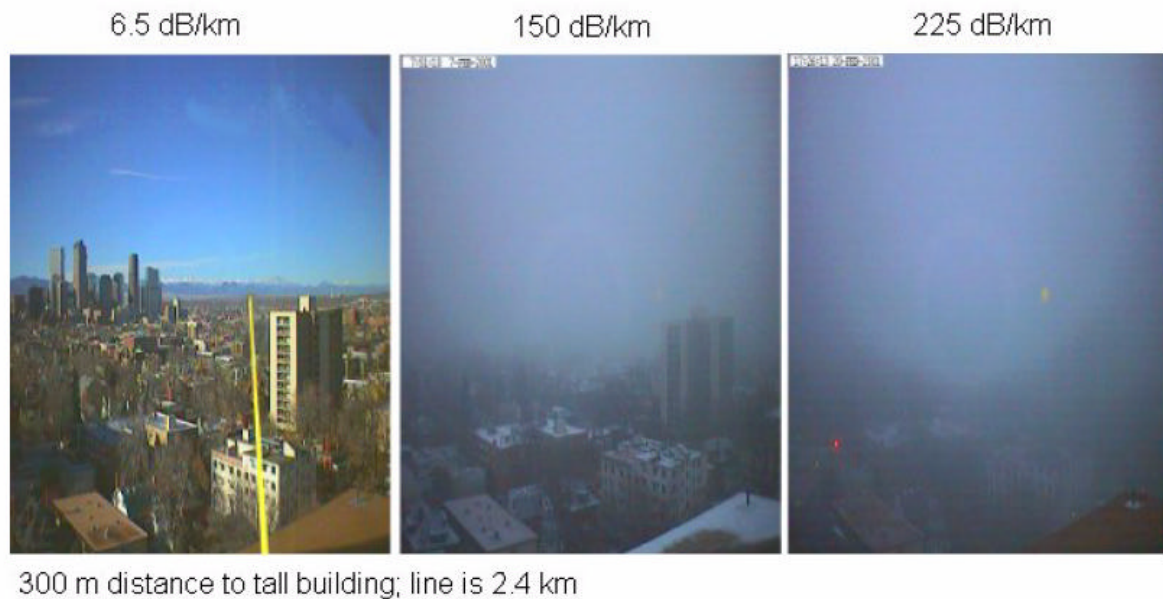
Desgraciadamente, la lluvia afecta el comportamiento de estos sistemas a 60 GHz, especialmente en las regiones con lluvia pesada como son las regiones D y E del modelo de R. K. Crane o de ITU-R, Rec. P.530-8 (ver referencia [6])

En estas regiones con lluvia densa el alcance llega a menos de 500 metros, de acuerdo con pruebas realizadas en USA, Japón y China, con un valor similar cuando existen limitaciones con neblina y smog sobre un FSO.

#### A.2.5.4 Neblina, Smog y FSO

La neblina atenúa sustancialmente la radiación visible, y tiene un efecto similar en las longitudes de onda cercanas al infrarrojo que se utilizan en los sistemas FSO.

En la siguiente Figura A.2.4 podemos ver como varia la atenuación de un enlace óptico, para un edificio de 300 metros de altura, y una distancia de enlace de 2.4 km.



**Figura A.2.4 Efecto de la Neblina y Smog en FSO (Fuente MMSInc)**  
(Fuente: <http://www.freespaceoptics.com/AirFiber-Physics-FSO.pdf>)

Hay que notar que el efecto de la neblina y el smog en los FSO es completamente análogo a la atenuación sufrida por los sistemas de radiofrecuencia debido a la lluvia.

Similar al caso de la atenuación por lluvia para los sistemas de RF, la atenuación por niebla no anula completamente al sistema FSO, ya que el enlace óptico se calcula de una manera tal que, por un largo periodo de tiempo, una potencia aceptable será recibida incluso en la presencia de una densa neblina.

#### A.2.5.5 Estabilidad de Instalaciones FSO – Movimiento de Edificios y Torres.

Los sistemas FSO de punto fijo son diseñados de manera de ser capaces de manejar la mayoría de los movimientos encontrados en despliegues en edificios. La combinación de una divergencia efectiva del haz y un adecuado

campo de visión del receptor proveen un punto fijo extremadamente robusto para el sistema FSO.

Sistemas de punto fijo de FSO son generalmente preferidos sobre los sistemas de seguimiento activo de FSO debido a su significativo menor costo.

Destello o “Scintillation” es un término genérico para las rápidas variaciones en la posición aparente, el brillo o el color de un objeto luminoso distante al ser visto a través de la atmósfera.

Si el objeto se encuentra fuera de la atmósfera terrestre, como en el caso de las estrellas y planetas, el fenómeno se llama “Destello Astronómico”; si la fuente luminosa se encuentra dentro de la atmósfera terrestre, el fenómeno se llama “Destello Terrestre”.

El fenómeno de “Scintillation” es definido como variaciones de la luminancia de un objeto. Es claro que casi todos los efectos de “Scintillation” son producidos por refracciones anómalas ocurriendo en distintos estratos de aire, donde sus temperaturas y densidades difieren levemente de las que los rodean.

Los movimientos normales del aire en la línea vista de los sistemas FSO producen las fluctuaciones, irregulares características de la “Scintillation” o destello.

La performance de muchos sistemas FSO es afectada adversamente por el destello en los días soleados y brillantes. Estos efectos se reflejan típicamente en las estadísticas de la tasa de error BER (Bit Error Rate). Algunos sistemas inalámbricos ópticos tienen una combinación única de un receptor de gran apertura, transmisores bien espaciados, filtrado de recepción muy ajustado, y características de control automático de ganancia.

Adicionalmente, algunos sistemas FSO aplican una constante de tiempo de reloj para eliminar los efectos del destello atmosférico y la interferencia ínter símbolo (ISI).

#### **A.2.5.6 Interferencia Solar y los sistemas FSO**

La interferencia solar en los sistemas FSO operando en longitudes de onda de **1550 nanómetros** puede ser combatida de dos maneras.

La primera manera es utilizar un filtro de ventana óptica utilizado para bloquear todas las longitudes de onda ópticas debajo de los 850 nm, y no permitirles el paso al sistema.



La segunda modalidad es utilizar un filtro óptico de banda angosta que permite al receptor filtrar todo excepto la longitud de onda utilizada por el sistema de comunicaciones.

#### **A.2.5.7 Confiabilidad de los Sistemas FSO**

Utilizando tecnologías de potencia de láser adaptativa, para ajustar dinámicamente la potencia del láser de transmisión en respuesta a las condiciones atmosféricas, mejorará la confiabilidad del sistema FSO.

Con buen tiempo, la potencia usada para transmitir se reduce considerablemente, permitiendo mejorar la vida útil del láser al utilizarlo bajo condiciones de bajo stress. En cambio, en clima adverso, la potencia del láser se aumenta para mantener el enlace óptico, luego se baja la potencia al mejorar el clima.

Los sistemas de comunicaciones FSO están estableciéndose como una aproximación viable para acceder al mercado emergente del acceso de banda ancha, y su cuello de botella de la última milla. Estos robustos sistemas, que establecen enlaces de comunicación al transmitir haz láser directamente a través de la atmósfera, han madurado al punto que los modelos producidos en masa están disponibles.

Los sistemas ópticos inalámbricos ofrecen muchas características, principalmente bajos costos de despliegue y costos operacionales, rapidez en la instalación, y anchos de banda comparables con los de fibra óptica.

Dentro del amplio rango de aplicaciones que nos ofrecen estos sistemas, las soluciones se pueden implementar fácilmente usando arquitecturas muy diferentes entre si. Un modelo de un transceptor es indicado en la Figura A.2.5.



**Figura A.2.5 Transceptor para FSO (Fuente: <http://www.free-space-optics.org>)**

Gracias a estas características, las proyecciones de mercado indican un crecimiento saludable para las ventas de los sistemas FSO. Aunque sean simples de desplegar, los transceptores ópticos inalámbricos son dispositivos sofisticados.

Hoy en día, los sistemas FSO disponibles pueden ser clasificados en dos categorías dependiendo de la longitud de onda de operación y de la seguridad para el ser humano entre otras características:

- o **Sistemas que operan en una longitud de onda cercana a los 800 nm**
- o **Sistemas que operan en longitudes de onda cercanas a los 1550 nm.**

Existen razones para seleccionar los 1550 nm, y éstas son debido a:

- o **Seguridad para la visión humana**
- o **Radiación solar reducida**
- o **Compatibilidad con la infraestructura de tecnología existente.**

Láser con longitudes de onda en el rango de los **400 a los 1400 nm** emiten luz que pasa a través de la córnea y se enfoca en un punto de la retina, mientras que las longitudes de onda **superiores a 1400 nm** son absorbidos por la córnea, y no se enfocan en la retina.

Es posible diseñar sistemas transmisores láser seguros para la visión humana en los **850 nm y los 1550 nm**, pero la potencia láser permitida por razones de seguridad es alrededor de 50 veces mayor en la longitud de onda de 1550 nm.

Este factor de 50 es importante, ya que provee un margen adicional de hasta 17 dB, permitiendo al sistema propagarse sobre distancias mayores, a través de una atenuación mayor, y para soportar tasas de transmisión de datos mayores.

Los sistemas FSO también deben ser diseñados para soportar la atenuación atmosférica, particularmente debido a la niebla.

A pesar de que longitudes de onda mayores son preferidas para condiciones de humedad y niebla liviana, bajo condiciones de baja visibilidad, el criterio de longitud de ondas mayores no aplica.

Sin embargo, el hecho que los sistemas de 1550 nm utilicen 50 veces mas potencia, se traduce en una penetración superior de neblina o alguna otra atenuación atmosférica.

Existe un número de factores a considerar al examinar la efectividad del receptor de un sistema FSO; estas incluyen:

- o **Tipo de detector usado**
- o **Rango de sensibilidad y el tamaño del detector**
- o **Tamaño y diseño del receptor óptico**
- o **Longitud de onda de operación.**

De manera de evaluar correctamente la eficiencia del sistema total, se debe considerar el **número y la potencia** de los láser utilizados para generar la señal.

Los **detectores ópticos** típicos utilizados en los sistemas FSO vienen en dos tipos: **PIN y APD**.

El detector PIN es un detector de bajo costo que no tiene ganancia interna, mientras que el APD es un detector más caro pero también más sensitivo que tiene ganancia interna.

Los beneficios de utilizar APD sobre tecnología PIN varían, pero los resultados del mundo real indican que los beneficios son del orden de 4 veces la sensibilidad de un detector PIN.

A primera vista pareciera que los sistemas utilizando detectores APD debería tener una ventaja de performance, sin embargo, la performance del sistema también debe tomar en consideración las características de transmisión.

El tamaño de los receptores ópticos también es importante; un área mayor de recepción contribuye a reducir los errores debido al destello. Este destello es una turbulencia atmosférica debido a la carga solar y a la convección natural, causando temporalmente y espacialmente variaciones de los índices de refracción del aire.

Como un haz láser se propaga a través de la atmósfera, existe una intensidad variable en el receptor debido a este fenómeno del destello.

Este efecto es similar al parpadeo aparente de las estrellas o las luces de una ciudad distante, que ocurre debido al mismo efecto.

El resultado es que un receptor de comunicaciones FSO puede experimentar ráfagas de errores debido a crecidas y disminuciones de la potencia de la señal recibida. Una manera de combatir el efecto del destello, y de esta manera mejorar la performance de la tasa de errores, es usar un receptor de mayor apertura.

#### **A.2.5.8 Longitud de Onda de Transmisión**

La longitud de onda de operación de un sistema FSO también contribuye a la performance del receptor. Generalmente los fotodiodos de alta calidad a 800 nm y 1550 nm logran eficiencias cuánticas comparables.

Sin embargo, longitudes de onda mayores tienen una ventaja en el receptor debido a que disponen energías menores por fotón. Específicamente, un fotón de 1550 nm tiene la mitad de la energía que un fotón de 800 nm; de esta manera, para la misma energía total (Watts), un haz de 1550 nm tiene el doble de fotones que un haz de 800 nm.

Esto resulta en que el receptor (fotodiodo) recibe el doble de fotones. Ya que cierta cantidad de fotoelectrones es requerida para detectar un pulso óptico, un pulso de 1550 nm puede ser detectado con alrededor de 3 dB menos de potencia óptica.

De esta manera, los 1550 nm tienen una ventaja fundamental de 3 dB sobre los 800 nm en sensibilidad de receptor.

La longitud de onda de 1550 nm es la especificación mas común en las comunicaciones por fibra de óptica terrestre, y consecuentemente, la infraestructura de soporte para esta longitud de onda (tal como componentes pasivos, láser, moduladores, amplificadores ópticos, y receptores foto detectores) es amplia y en crecimiento.

La performance o comportamiento de un sistema FSO puede ser caracterizada por 4 parámetros principales:

- 1. Potencia de transmisión total.**
- 2. Ancho de banda de transmisión.**
- 3. Área de recepción del receptor óptico.**
- 4. Sensibilidad del receptor.**

Una gran potencia de transmisión puede ser desarrollada utilizando amplificadores de fibra monomodo dopados con erbio, o combinando múltiples láser semiconductores de menor costo.

Opticas de recepción más grandes capturan una fracción mayor del total de potencia transmitida, considerando que crecerá el costo de terminal, el volumen y el peso de éste.

Una alta sensibilidad del receptor puede ser conseguida al utilizar foto detectores pequeños de baja capacitancia, circuitería que compensa la capacitancia del detector, o al utilizar detectores con mecanismos de ganancia interna, como los APD.

Los detectores APD proveen entre 5 a 10 dB de mejora sobre los detectores PIN, a pesar de un costo de partes mayores y un circuito de alto voltaje más complejo de desarrollar.

#### **A.2.5.9 Alineación Fija o Activa**

Otro elemento a considerar en el diseño de un sistema FSO es el desafío de mantener una estabilidad suficiente de la alineación de transmisor y receptor.

Un número de sistemas FSO utilizan una solución de alineación activa, que representa una solución efectiva para este problema. Sin embargo, el costo, la complejidad y los problemas con la confiabilidad de la solución de alineación activa pueden ser evitados en algunos casos, particularmente para distancias cortas, y tasas de transmisión menores, utilizando una solución de alineación fija.

De acuerdo a los parámetros de la alineación fija, el haz transmitido es “ensanchado” mas allá del ángulo de divergencia mínimo del haz, y el campo de visión del receptor se “abre” en magnitud similar.

Este ensanchamiento del campo de transmisión y recepción genera mejores tolerancias con la alineación, y una baja probabilidad de que el movimiento del edificio sea de tal magnitud que se pierda la conexión del enlace óptico.

De esta manera, es posible llevar a cabo una alineación inicial del transmisor y receptor al momento de instalar el enlace, y dejarlos de esta manera durante años incluso para un servicio confiable.

Esta solución es mejor implementada en sistemas que operan con longitudes de onda superiores a los 1400 nm, ya que debido a que en estas longitudes de onda, al no ser nocivas para la vista de los seres humanos, permiten transmitir con mayor potencia; con esto podemos ensanchar aun mas el campo de transmisión, manteniendo una intensidad adecuada de potencia de señal en el receptor.

### A.2.6 Aplicaciones

La tecnología punto a punto de los sistemas FSO está disponible en varios anchos de banda, protocolos, topologías y arquitecturas, y pueden ser utilizadas en numerosas aplicaciones, dependiendo de las necesidades del usuario.

El sistema puede enviar y recibir **voz, video, e información de datos** sobre haces invisibles de luz. Esta conectividad óptica no requiere cables de fibra óptica, ni licencias, en el caso de algunos países, para usar el espectro radioeléctrico.

FSO posee interfaz estandarizadas para PDH (Jerarquía Digital Plesiócrona) desde 1,5/2 Mbps a 34/45 Mbps.

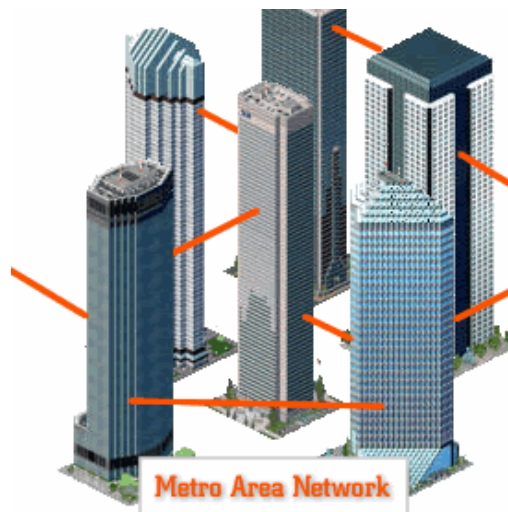
Proporciona competitividad o mejor comportamiento sobre medias y cortas distancias, y puede ser una alternativa válida frente a otras soluciones de transmisión.

#### **Las aplicaciones más comunes se orientan a:**

- o Conectividad de "última milla" para aplicaciones de carriers u operadores.
- o Conectividad entre campus universitarios y empresas con redes LAN.
- o Respaldo para redes Wi-Fi o PCS.
- o Enrutamiento de enlaces críticos y respaldo en caso de desastres.
- o Despliegues temporales y permanentes

#### **Las aplicaciones especializadas incluyen:**

- o Redes de video y broadcast.
- o Conectividad para PBXs remotas.
- o Sistemas de antenas celulares distribuidas, microceldas y respaldo para enlazar las estaciones base de las redes móviles (2G, 2.5G y 3G).
- o Aplicaciones de Defensa.
- o Redes para empresas de utilidad pública (trenes, electricidad, gasoductos).



**Figura A.2.6 Aplicación de FSO en una red Metropolitana**  
(Fuente: <http://www.free-space-optics.org>)

La Figura A.2.6, muestra una aplicación de FSO en una red metropolitana, interconectando edificios comerciales, oficinas privadas o gubernamentales.

#### **A.2.6.1 ¿Cuándo utilizar FSO?**

- o **Al existir “Cuello de Botella” en la última milla.**

Con el aumento explosivo del uso de Internet, nuevas tecnologías tales como VoIP y video streaming, nuevas generaciones de redes celulares y la demanda por “estar conectado” ha liderado la aguda congestión en la conectividad, especialmente en **áreas urbanas**, creando el “cuello de botella” de la última milla.

- o **Donde termina la Fibra Optica**

Mientras las redes de telecomunicaciones que usan cables de fibras ópticas son capaces de transportar enorme cantidad de información, los problemas comienzan donde termina la fibra.

Los cables de cobre, radio o enlaces de microondas aún no se acercan a la velocidad o ancho de banda de la fibra. Adicionalmente, la calidad existente de las redes de cobre limita la escalabilidad de los servicios que ellas pueden soportar

- o **Para conectividad de la “última milla”**

No solamente las redes de telecomunicaciones sufren los problemas de conectividad, los usuarios corporativos tales como hospitales,

universidades, fábricas y compañías con varios sitios en áreas urbanas están teniendo problemas de conectividad.

Tendiendo más cables de fibra óptica podría dirigir el problema, pero mientras la fibra es una solución viable para las conexiones de backbone, en muchos casos esto está lejos de una conectividad económica para la "última milla".

Allí es donde las soluciones con sistemas inalámbricos son exitosas. Ellos proporcionan un alto ancho de banda, confiabilidad y conectividad segura sin tender nuevos cables.

Las ventajas de la tecnología FSO no vienen sin algún costo asociado. Cuando la luz es transmitida a través de fibra óptica, la integridad de la transmisión es bastante predecible. Cuando la luz se transmite a través del aire, se debe lidiar con un entorno complejo y no siempre cuantificable, la atmósfera.

### **A.2.7 Fabricantes**

Entre los fabricantes de FSO podemos encontrar una gran cantidad de alternativas en el mercado, entre ellas y a modo de ejemplo, se mencionan:

#### **A.2.7.1 Alcatel**

El sistema FSO de Alcatel usa láseres para transmitir datos, pero en vez de encerrar el flujo de datos en una fibra de vidrio, éste es transmitido a través del aire. FSO es completamente óptico, de esta manera se logra la velocidad de la fibra sin los costos substanciales de instalar un enlace de fibra.

El sistema FSO puede operar sobre extensiones con una clara Línea de Vista entre la fuente y el destino. Los sistemas han sido probados para operar sobre distancias mayores a 3 kilómetros (1.86 millas).

FSO, en algunos países, es una tecnología No Licenciada y puede ser desplegada en unas pocas horas.

Esta compañía ofrece alternativas para FSO, tales como los sistemas PDH de baja y mediana capacidad, en su modelo Alcatel 9400 FSO, y los sistemas SDH/SONET de Alta Capacidad, en su modelo Alcatel 9600 FSO.

##### **A.2.7.1.1 FSO orientado a tecnologías PDH**

Las características técnicas más importantes para aplicaciones con PDH son:

- o Estos sistemas operan sobre distancias mayores a 3 kilómetros.



- o La aplicación PDH tiene características estandarizadas para las interfases desde 1,5/2 Mbps hasta 34/45 Mbps.
- o Permite una completa integración con las redes inalámbricas que utilicen radio y enlaces ópticos.
- o Es un sistema administrado por una plataforma de TMN (Telecommunication Management Network).
- o El modelo Alcatel 9400 FSO opera en la longitud de onda de los 850nm y es totalmente compatible con los estándares de seguridad para los ojos, tales como los indicados por la CE (European Commission), UL (Underwriters Laboratories Inc., ver <http://www.ul.com>), OSHA (ver [Occupational Safety and Health Administration](#)), entre otros.

Para mayor información acerca de los Programas de Salud con FSO, ver [http://www.crownaudio.com/amp\\_html/certifmarks/certifmarks.htm](http://www.crownaudio.com/amp_html/certifmarks/certifmarks.htm)

- o Soporta capacidad de tráfico desde E1 a 16xE1/E3 para el mercado con norma Europea (ETSI), y desde T1 a 16xT1/DS3 para el mercado con norma Americana ANSI), también actúa con 2x10/100BT para interfases Ethernet (IEEE 802.3).

En la Tabla A.2.2 siguiente, se muestra un resumen de las características técnicas de las soluciones de Alcatel orientadas a las tecnologías de transmisión PDH.

## Technical Summary

| TRANSMISSION                        |       | Alcatel 9400 FSO |
|-------------------------------------|-------|------------------|
| Transmission Rates                  | Mb/s  | Up to 45         |
| Free Space Wavelength               | nm    | 850              |
| Total Average Output Optical Power  | dBm   | 11               |
| Number of Transmitters              | laser | 2                |
| Divergence                          | mrاد  | 2                |
| Modulation transmitter type         |       | 4 PSK            |
| RECEIVER                            |       |                  |
| Detector                            |       | APD              |
| Threshold (optical losses included) | dBm   | -54              |
| Receive Aperture (diameter)         | cm    | 10               |
| Receiver field of view              | mrاد  | 5                |
| Dynamic range                       | dB    | 65               |
| FEC                                 |       |                  |
| Viterbi rate _ concatenated         |       | 1/2              |
| Reed Solomon rate                   |       | (255/239)        |
| SYSTEM                              |       |                  |
| Power Consumption                   | W     |                  |
| IDU + ODU with Heaters              |       | 80               |
| IDU + ODU                           |       | 40               |
| Weight                              | Kg    |                  |
| ODU                                 |       | < 12             |
| IDU                                 |       | < 3              |
| Dimensions (WxDxH)                  | cm    |                  |
| ODU (Split mount)                   |       | 26 x 40 x 17     |
| IDU (Rack, Desk or Wall mounting)   |       | 44.9 x 21 x 4.9  |

**Tabla A.2.2 Características Técnicas de soluciones FSO de Alcatel orientadas a la tecnología de transmisión PDH (Fuente: Alcatel)**

#### **A.2.7.1.2 FSO orientado a tecnologías SDH**

En caso de aplicaciones con SDH del sistema Alcatel 9600 FSO, algunas características relevantes son las siguientes y complementadas en la Tabla A.2.3.

- o Posee una gran variedad de interfases estandarizadas tales como: SDH STM-1/4, SONET OC3, nx100Mbit/s Fast ETH, y 1 Gbit/s ETH también como interfases PDH 3xE3 y 3xDS3.
- o Este sistema opera en la longitud de onda de 1550nm, lo que permite una alta potencia de transmisión, y es totalmente compatible con los estándares de seguridad para la visión humana.
- o Existen 3 versiones dependiendo de las aplicaciones que se requieran:  
SH:Es muy compacto y proporciona conexiones de corto alcance.  
MH:Sistema muy poderoso ideal para alcances medios y alta disponibilidad de enlaces.  
LH:Este dispositivo incluye un sistema de rastreo que tiene un rayo muy angosto. Proporciona gran distancia y alta disponibilidad.
- o Cumple con los estándares de seguridad de la visión tales como CE, UL, OSHA, etc,
- o Cumple con las interfases de red de la ITU, ETSI y ANSI.
- o Posee acceso a la “ultima milla” y respaldo para ISPs inalámbricos
- o Interfases de Usuarios:
  - 100 Base-T Ethernet IEEE 802.3
  - 1xSTM-1; 2xSTM-1;4xSTM-1
  - 1xOC3; 2xOC3; 4xOC3
  - STM-4
  - 1 Gbps ETH
  - 3xE3; 3xDS3
- o Canales de Servicio
  - Canal de voz Omnibus (E1) DTMF (Q.23)
  - 2 x 64 Kbps G.703, 1 x 64 Kbps V11
  - 1 x 9.6 Kbps RS 232 y 2x2 Mbps WST (STM-1 solamente)

## Technical Summary

| Alcatel 9600 FSO                                                         | SH                          | MH                          | LH                          |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| <b>Transmission Capacity</b><br>(All 3 versions transmit up to 1.5 Gbps) | STM-1; STM-4;<br>GbFast ETH | STM-1; STM-4;<br>GbFast ETH | STM-1; STM-4;<br>GbFast ETH |
| <b>Total Average Output Optical Power</b> dBm                            | 22                          | 25                          | 26                          |
| <b>Number of Transmitters</b>                                            | 2                           | 4                           | 4                           |
| <b>Receive Aperture</b> (diameter) cm                                    | 10                          | 20                          | 21.7                        |
| <b>Threshold</b> dBm                                                     | -41/-34/-30                 | -41/-34/-30                 | -41/-34/-30                 |
| <b>Divergence</b> mrad                                                   | 2                           | 1.5                         | 0.375                       |
| <b>Passive Loss</b> dB                                                   | 5                           | 5                           | 5                           |
| <b>Free Space Wavelength</b> nm                                          | 1550                        | 1550                        | 1550                        |
| <b>Power Consumption</b> W                                               |                             |                             |                             |
| IDU +ODU                                                                 | 75                          | 90                          | 110                         |
| IDU +ODU with Heaters                                                    | 200                         | 200                         | 220                         |
| ODU                                                                      | 40                          | 55                          | 75                          |
| IDU                                                                      | 35                          | 35                          | 35                          |
| <b>Weight</b> Kg                                                         |                             |                             |                             |
| Optical Head (ODU)                                                       | 10                          | 20                          | 19                          |
| Power Cable Assembly Box (ODU)                                           | -                           | 8                           | 15                          |
| IDU                                                                      | 5                           | 5                           | 5                           |
| <b>Dimensions</b> cm                                                     |                             |                             |                             |
| Optical Head                                                             | 43 x 40 x 31                | 41 x 41 x 43                | 55 x 31 x 36                |
| Power Cable Assembly Box                                                 |                             | 36 x 24 x 12                | 43 x 36 x 28                |
| IDU                                                                      | 44.5 x 25.8 x 4.8           | 44.5 x 25.8 x 4.8           | 44.5 x 25.8 x 4.8           |

**Tabla A.2.3 Características Técnicas de soluciones FSO de Alcatel orientadas a la tecnología de transmisión SDH (Fuente Alcatel)**

### A.2.7.2 LaserBit Communications

LaserBit Communications desarrolla, fabrica y vende sistemas Free Space Optical (FSO). Usa una tecnología de innovación basada en sus propias patentes. LaserBit ofrece sistemas punto a punto basados en soluciones inalámbricas con Láser proporcionando alta performance y confiabilidad.

La serie LB-1500 de productos de LaserBit son diseñados para proporcionar flexibilidad, confiabilidad y soluciones seguras para conexiones de alta velocidad hasta 1500 metros. Debido a su diseño modular, el equipo es fácilmente y rápidamente desplegado en terreno. El sistema de transmisión óptico es ajustable para permitir la configuración del usuario en instalaciones específicas.

La transparente y rápida transferencia de datos, junto con una virtual latencia cero, asegura una fácil integración del sistema en todos los ambientes. Los sistemas de la serie LB-1500 pueden ser solicitados con un SNMP (Simple Network Management Protocol compatible basado en IP para administrar, controlar remotamente y monitorear el equipo).

Debido a que estos equipos usan luz infraroja para la transmisión al medio, los sistemas LaserBit **no requieren de Licencia en USA** y la transmisión no es afectada por la interferencia electromagnética. El rayo Láser es muy concentrado para ser descubierto y no puede ser detectado por el analizador de espectro.

#### A.2.7.2.1 Características Importantes

- o Comunicación inalámbrica en espacio libre hasta 1500 metros
- o Diseño modular del sistema
- o Fácil mejoramiento & disparo
- o Rápida instalación y re-despliegue
- o Conectividad Full Duplex
- o Amplia selección de interfases estandarizadas
- o Seguridad en la transmisión de datos
- o Operación transparente

#### **A.2.7.2.2 Protocolos - PDH**

La tecnología PDH está basada en las recomendaciones de la ITU que permite la interconexión de los componentes de la red digital (secciones de transmisión digital, equipos multiplexores, conmutación) para formar los enlaces digitales nacionales o internacionales o aún redes privadas.

La tasa de datos está basada en el canal digital de 64Kbps. Un canal E1, por ejemplo, consiste de 32 canales de 64 Kbps. E1 crea la base para los canales PDH de alta velocidad en Europa como en otros lugares. Los dispositivos PDH pueden tener conexiones de alta tasa tal como E2 (4xE1 u 8 Mbps), E3 (16xE1 o 34 Mbps), etc., basados en los canales E1 sobre una jerarquía estándar.

#### **A.2.7.2.3 Protocolos - SDH/SONET**

SDH y SONET son tecnologías digitales de alta velocidad basadas en las recomendaciones de ITU (Europa) y el estándar ANSI (Norte América) respectivamente. Su velocidad es superior a los sistemas PDH de allí que típicamente se usan para conexiones de backbone.

Mientras la parte mayor de las conexiones SDH/SONET proporcionan 155 Mbps, la capacidad hoy en día puede llegar a más allá de los Gigabit de velocidad. LaserBit ofrece un rango de productos FSO que soportan conectividad SDH/SONET ofreciendo interfases STM-1/OC3.

#### **A.2.7.2.4 Protocolos - Ethernet**

Ethernet es la tecnología más popular para las Redes de Area Local (LAN) debido a su relativa simplicidad, costo-eficiencia y gran soporte técnico de los vendedores. Diferentes versiones de redes Ethernet gobernadas por la serie de estándares IEEE 802.3 pueden diferenciarse basadas en la velocidad de transmisión.

La tecnología original 10 Mbps casi ha desaparecido, pues su velocidad llegó a ser insuficiente para muchas aplicaciones y los equipos de red han llegado a ser más caros que sus propias partes. Las redes Fast Ethernet con su tasa de datos a 100 Mbps han estado dominando el mercado LAN, hasta que los nuevos miembros de la familia de datos empezaron a conquistar el mercado al ofrecer anchos de banda del orden de los GigaBit.

LaserBit ofrece un amplio rango de productos FSO para aplicaciones Fast Ethernet y Gigabit Ethernet usando la industria de las interfases conocidas para redes con fibra y cobre.

### **A.2.7.3 fSONA Communications**

FSO de fSONA, ofrece una solución flexible que entrega facilidades sobre la premisa de las redes de banda ancha.

#### **A.2.7.3.1 Serie M**

La serie SONAbeam™ M, diseñada para las necesidades de los carriers, es ideal para alcances medios de enlaces con alta disponibilidad. Ofreciendo un fuerte, protección de aluminio, sellado al medio ambiente y hasta 50 veces la potencia de los productos de la competencia. Usa cuatro transmisores redundantes, combinados con los mejores receptores de la industria, además asegura la integridad de la transmisión.

#### **A.2.7.3.2 Serie S**

La serie SONAbeam™ S proporciona corto alcance, para todo clima, alta disponibilidad de enlaces para edificios, aplicaciones industriales y carriers. El alcance del enlace puede ser aumentado en regiones con climas favorables, o cuando son aceptables reducidas disponibilidades, haciendo de este producto una solución ideal para muchas aplicaciones, para aplicaciones de exterior e interior, transmitiendo a través de la ventana de la oficina. SONAbeam's™ opera en 1550 nm y el único transceptor que permite dar hasta 25 veces la potencia de la competencia.

#### **A.2.7.3.3 Serie E**

La serie SONAbeam™ E proporciona enlaces de costo-efectivo para aplicaciones de corta distancia. Esta serie es muy versátil, ofrece soporte para un número de diferentes protocolos de redes con tarjetas intercambiables las cuales hacen subir el ancho de banda o los protocolos de conmutación rápidos y baratos. Las tarjetas de interfaz soportan los protocolos NxT1/E1, 10/100 Ethernet, E3/DS3 y todos ofrecen la confiabilidad agregada al reloj de recuperación (clock data-rate recovery o CDR). Este equipo es fácilmente transportable e instalable en los sitios del despliegue.

En la Tabla A.2.4, se muestra las características generales de las soluciones de la empresa **fSONA Communications**.

**Tabla A.2.4**

| <b>SONAbeam™</b>        | <b>Rate (Mbps)</b> | <b>Rango Máximo Recomendado</b> | <b>Protocolos</b>                                                                                                   |
|-------------------------|--------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <u>SONAbeam™ 8-E</u>    | 1.5 - 10.25        | 4,950m<br>(2.9 millas)          | N x T1/E1, data rate transparente o reclocked                                                                       |
| <u>SONAbeam™ 52-E</u>   | 1.5 - 68           | 3,850m<br>(2.3 millas)          | N x T1/E1, E3, DS3, OC-3/STM-1, Ethernet, data rate transparente o reclocked                                        |
| <u>SONAbeam™ 52-M</u>   | 1.5 - 62           | 7,700m<br>(4.8 millas)          | N x T1/E1, E3, DS3, OC-1/STM-0, data rate transparente                                                              |
| <u>SONAbeam™ 155-E</u>  | 1.5 - 160          | 2,600m<br>(1.6 millas)          | N x T1/E1, E3, DS3, OC-3/STM-1, 10/100 Ethernet, data rate transparente y reclocked                                 |
| <u>SONAbeam™ 155-S</u>  | 31 - 180           | 3,850m<br>(2.4 millas)          | OC-3, STM-1, Fast Ethernet, data rate transparente y reclocked                                                      |
| <u>SONAbeam™ 155-M</u>  | 31 - 180           | 5,700m<br>(3.5 millas)          | OC-3, STM-1, Fast Ethernet, data rate transparente y reclocked                                                      |
| <u>SONAbeam™ 622-S</u>  | 100 - 715          | 3,400m<br>(2.1 millas)          | OC-3, STM-1, Fast Ethernet, OC-12, STM-4, 270 Mbps, data rate transparente y reclocked                              |
| <u>SONAbeam™ 622-M</u>  | 100 - 715          | 5,500m<br>(3.2 millas)          | OC-3, STM-1, Fast Ethernet, OC-12, STM-4, data rate transparente y reclocked                                        |
| <u>SONAbeam™ 1250-S</u> | 100 - 1448         | 3,200m<br>(2.0 millas)          | OC-3, STM-1, Fast Ethernet, OC-12, STM-4, Gigabit Ethernet, 270 Mbps, 1064 Mbps, data rate transparente y reclocked |
| <u>SONAbeam™ 1250-M</u> | 100 - 1448         | 5,300m<br>(3.3 millas)          | OC-3, STM-1, Fast Ethernet, OC-12, STM-4, Gigabit Ethernet, 270 Mbps, 1064 Mbps, data rate transparente y reclocked |
| <u>SONAbeam™ 2500-M</u> | 2,448              | 5,000m<br>(3.1 millas)          | OC-3, STM-1, Fast Ethernet, OC-12, STM-4, Gigabit Ethernet, OC-48, STM-16                                           |

**Tabla A.2.4 Soluciones de fSONA Communications para FSO**

**(Fuente: fSONA Communications)**



#### **A.2.7.4 Mercury Networks**

La compañía MRV es líder en FSO a través de su línea de productos TereScope™. FSO es un sistema de transmisión de datos, voz y video. Al igual que un cable de fibra óptica, los sistemas de comunicaciones FSO usan luz Láser para transmitir una señal digital entre dos transceptores. Sin embargo, a diferencia de la fibra, el Láser es transmitido a través del aire (espacio libre) en vez de usar un vidrio. Para que la señal digital sea transmitida y recibida, se debe tener línea vista clara entre cada uno de las unidades de FSO.

##### **A.2.7.4.1 Familia TereScope™**

La familia de productos FSO TereScope™ proporciona bajo costo, conectividad inalámbrica de alta velocidad para una gran cantidad de aplicaciones en la última milla. Cuando se necesita voz en banda angosta y datos en banda ancha, estos productos MRV's proporcionan escalabilidad, y alternativas inalámbricas para líneas arrendadas. Operando tasas de datos de 1.5 Mbps a velocidades de Gigabit, estos sistemas son desplegados en un día, sin requerir derechos de paso o permisos gubernamentales para su instalación en USA, proporcionando enlaces de comunicaciones en poco tiempo.

Las principales características del FSO son:

- Múltiples Transmisores para reducir el destello.
- Una cámara para asegurar un alineamiento preciso.
- Un sistema de respaldo en RF para un número de productos TereScopes, ofreciendo servicios "carrier-class" con disponibilidad del 99.999%, en todos los tipos de climas, incluyendo neblina y lluvia.
- Administración por MegaVision™, este es un sistema SNMP, o también se puede usar cualquier dispositivo SNMP de aplicación comercial.

EL sistema inalámbrico óptico TereScope 1, proporciona directamente velocidad de comunicaciones del tipo fibra para resolver el cuello de botella a menudo encontrado en las aplicaciones de la última milla. Tienen un confiable costo-efectivo y fácilmente desplegable en redes y backbones proporcionando conectividad inalámbrica de alta velocidad, para áreas metropolitanas y accesos.

Ofrecen tasas de datos de 1 a 100 Mbps, a distancias hasta de 380 metros, aquellos sistemas evitan la necesidad de consumos costosos y de mucho tiempo corriendo a través de la Fibra en las áreas desarrolladas.

Es diseñado para conectividad de cortas distancias y a bajo costo, siendo ideal para soluciones altamente confiables en zonas urbanas densas y para redes con tráfico Ethernet.

El TereScope 1 indicado en la Figura A.2.7, es totalmente administrado por MegaVision Web™.



**Figura A.2.7 TereScope 1 para Fast Ethernet hasta 380 metros**  
(Fuente: Mercury Networks)

**Tabla A.2.5**

| Series Terescope                         | Tasa de Datos            | Alcance en Rx                   | Protocol                                              |
|------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------|
| TereScope Mux                            | 4xE1 o 4xT1              | Hasta 2 km                      | E1 o T1                                               |
| TereScope 1 (PAL)                        | 1-100 Mbps<br>(Pasivo)   | Hasta 380 m                     | Fast Ethernet, Ethernet,<br>E1 o T1                   |
| TereScope 2                              | 1.5 Mbps o 2.048<br>Mbps | Hasta 4.1 km                    | E1 o T1                                               |
| TereScope 10                             | 10 Mbps                  | Hasta 3.2 km                    | Ethernet                                              |
| TereScope 34                             | 1-34 Mbps                | Hasta 2.6 km                    | Protocolo Independiente                               |
| TereScope 155 Protocolo<br>Select        | 34-155 Mbps              | Hasta 2.2 km                    | E3, T3, Fast Ethernet,<br>FDDI, ATM, STM-1            |
| TereScope 5000 (TS-<br>155/G)            | 1-155 Mbps               | Hasta 5.5 km                    | T1, E1, E3, T3, Fast<br>Ethernet, FDDI, ATM,<br>STM-1 |
| TereScope 155 Protocolo<br>Independiente | 10-155 Mbps              | Hasta 3.75 km                   | Protocolo Independiente                               |
| TereScope 622                            | 622 Mbps                 | Hasta 1.5 km                    | ATM (OC-12)                                           |
| TereScope 1000P (PAL)                    | 1.25 Gbps (Pasivo)       | Hasta 300 m                     | Gigabit Ethernet                                      |
| TereScope 1000                           | 1.25 Gbps                | Hasta 1.5 km                    | Gigabit Ethernet                                      |
| TereScope 1000Z                          | 1.25 Gbps                | Hasta 1.7 km                    | Gigabit Ethernet                                      |
| TereScope Fusion                         | 11 Mbps                  | Todos los alcances<br>Terescope | Ethernet                                              |

**Tabla A.2.5 Soluciones de Mercury Networks para FSO**  
(Fuente: Mercury Networks)

#### A.2.7.5 Otros Empresas con aplicaciones FSO.

**Huawei:** Lanzó su línea de equipos FSO, en Septiembre 9, 2003. para el mercado de China. Los clientes de Huawei incluyen entre otros a China Telecom, China Mobile, China Unicom, y China Netcom.

Los sistemas de FSO están siendo manufacturados por Huawei en San Diego, CA y basados en **LightPointe**.

**NTT DATA:** En Septiembre 30, 2003 la NTT DATA de Japón, parte de la Nippon Telegraph and Telephone (NTT) Corporation, anunció que estarán ofreciendo su sistema integrado a las soluciones de FSO para sus clientes.

NTT DATA seleccionó a **Terabeam** como su proveedor de FSO. Las oficinas principales de NTT DATA están en Tokyo, Japón.

#### A.2.8 Comparación de FSO entre fabricantes.

La Tabla A.2.6 muestra los resultados de los cálculos de enlaces para algunas compañías fabricantes de mayor importancia en sistemas FSO.

Muchos parámetros de los sistemas indicados están disponibles gratuitamente en las hojas de cálculo de los fabricantes. Sin embargo, donde un parámetro sea una suposición, ésta suposición será comentada.

Las condiciones de atenuación atmosféricas son asumidas como 100 dB/km, lo cual es una neblina moderada. Los alcances de enlaces fueron ajustados para cada uno de los sistemas tal que los márgenes se aproximen a cero, representando el umbral de la comunicación. Es interesante notar la variedad de anchos del tamaño de apertura, longitudes de onda, divergencias de transmisión y potencia transmitida empleada en aquellos sistemas (todos son parámetros ajustables del sistema).

Pero, como se señaló antes, el máximo alcance del enlace son todos aproximadamente los mismos (cerca de  $\pm 30$  metros). La clave para desplegar las portadoras FSO es la disponibilidad del sistema.

Esta disponibilidad depende de muchos factores, tal como confiabilidad de los equipos y diseño de la red (ejemplo, redundancia), pero aquellos son bien conocidos y claramente cuantificables.

La más desconocida es la estadística de la atenuación atmosférica. Mientras casi todos los principales aeropuertos alrededor del mundo mantienen estadísticas visibles (la que puede ser convertida en coeficientes de atenuación), la escala espacial de visibilidad de medidas es difícil (generalmente 100 metros) y la escala temporal es poco frecuente (en muchos casos por horas).

Las escalas espaciales y temporales, estiman la disponibilidad para el equipamiento del grado de portadoras (99.9% o mejor) son limitadas a 99.9% o peor.

Las informaciones proporcionadas de la forma señalada anteriormente, no son muy exitosas excepto para estimar el grado de servicio mas bajo capaz de ser aceptado.

Existen compañías que han desarrollado instrumentos capaces de adquirir y captar datos en pleno movimiento por varios años.

Aquellos instrumentos, incluyen medidores del tiempo atmosférico, proporcionando datos para una correcta resolución temporal y espacial para estimar precisiones de disponibilidad y alcance de enlaces.

Las siguientes Tablas A.2.6, A.2.7 y A.2.8 muestran los resultados de una comparación entre diferentes proveedores de equipos FSO, actuando sobre una niebla de 100 dB/km, con lo que se obtiene una diferencia neta en el alcance del enlace de alrededor de 30 metros aproximadamente.

#### A.2.8.1 Materiales Utilizados en el Transmisor y Receptor

**Tabla A.2.6**

|                   | Fábrica 1  | Fábrica 2  | Fábrica 3  | Fábrica 4  | Fábrica 5  | Fábrica 6  |
|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>Transmisor</b> | AlGaAs     | IGaAs      | EDFA       | InGaAs     | AlGaAs     | AlGaAs     |
| <b>Modulación</b> | NRZ<br>OOK | NRZ<br>OOK | NRZ<br>OOK | NRZ<br>OOK | NRZ<br>OOK | NRZ<br>OOK |
| <b>Receptor</b>   | Si APD     | Si APD     | PIN        | PIN        | Si APD     | Si APD     |

**Tabla A.2.6 Tipos de Tx, Rx y Modulaciones utilizadas**

(Fuente: <http://www.airfiber.com/tech/wireless.htm>)

## A.2.8.2 Especificaciones de los Productos

Tabla A.2.7

|                  | Fábrica 1      | Fábrica 2      | Fábrica 3      | Fábrica 4      | Fábrica 5      | Fábrica 6      |                         |
|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------|
| Long. de Onda    | 785            | 850            | 1550           | 1550           | 850            | 910            | nm                      |
| Tasa de Datos    | 1250           | 1250           | 1250           | 155            | 1250           | 622            | Mbps                    |
| Pot. Prom. Láser | 18             | 30             | 1000           | 320            | 16             | 25             | mw                      |
| Pot. Peak Láser  | 36             | 60             | 2000           | 640            | 31             | 50             | mw                      |
| Apertura Tx      | 8              | 5              | 40             | 5              | 5              | 15             | cm                      |
| Divergencia Tx   | 0.5            | 2.0            | 2.0            | 4.3            | 2.0            | 11.0           | mrad(1/c <sup>2</sup> ) |
| Apertura Rx      | 8              | 20             | 40             | 20             | 19             | 17             | cm                      |
| Opt. background  | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | w/m <sup>2</sup>        |
| Campo en Rx      | 3              | 3              | 3              | 3              | 3              | 3              | mrad(1/c <sup>2</sup> ) |
| Filtro de Rx     | 25             | 25             | 25             | 25             | 25             | 25             | cm                      |
| Sensibilidad Rx  | 1000           | 1000           | 1000           | 1000           | 1000           | 1000           | nw                      |
| BER              | $1 * 10^{-12}$ | $1 * 10^{-12}$ | $1 * 10^{-12}$ | $1 * 10^{-12}$ | $1 * 10^{-12}$ | $1 * 10^{-10}$ |                         |

Tabla A.2.7 Especificaciones técnicas del enlace

(Fuente: <http://www.airfiber.com/tech/wireless.htm>)

## A.2.8.3 Efectos Atmosféricos

Tabla A.2.8

|                                  | Fábrica 1 | Fábrica 2 | Fábrica 3 | Fábrica 4 | Fábrica 5 | Fábrica 6 |       |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| Atenuación: Neblina moderada     | -100      | -100      | -100      | -100      | -100      | -100      | dB/km |
| Pot. Tx peak Láser               | -14       | -12       | 3         | -2        | -15       | -13       | dBw   |
| Tasa Degradación Extinción       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | dB    |
| Degradación Tx Optica            | 0         | 0         | -15       | 0         | 0         | 0         | dBw   |
| Pérdidas Apuntamiento            | -1        | -1        | -1        | -1        | -1        | -1        | dB    |
| Pérdidas Alcance Geométrico      | -7        | -10       | -6        | -18       | -10       | -22       | dB    |
| Pérdidas Atmosféricas            | -34       | -33       | -38       | -36       | -30       | -20       | dB    |
| Desvanecimiento Destello Atmosf. | -1        | -1        | -1        | -1        | -1        | -1        | dB    |
| Atenuación Rx Optica             | -1        | -1        | -1        | -1        | -1        | -1        | dB    |
| Pérdida Filtro Pasa Banda        | -1        | -1        | -1        | -1        | -1        | -1        | dB    |
| Pérdidas Adicionales             | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | dB    |

|                                |     |     |     |     |     |     |        |
|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| Potencia Recibida en Detector  | -60 | -60 | -60 | -60 | -60 | -60 | dBw    |
| Potencia Requerida en Detector | -60 | -60 | -60 | -60 | -60 | -60 | dBw    |
| Margen del Enlace              | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | dB     |
| Alcance                        | 341 | 331 | 381 | 361 | 305 | 203 | metros |

**Tabla A.2.8 Alcance debido a las Características Atmosféricas**

(Fuente: <http://www.airfiber.com/tech/wireless.htm>)

## A.2.9 Cuadro comparativo de tecnologías

**Tabla A.2.9**

| Característica            | FSO                      | Microondas             | Radio inalámbrico                          | Fibra Optica        | ADSL           |
|---------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------------------------|---------------------|----------------|
| Alcance                   | Hasta 6 Km               | Hasta 50 Km            | 100 metros en interior y 30 Km en exterior | 100 Km              | 5,4 Km         |
| Ancho de Banda maximo     | 2.5 Gbps                 | 155 a 300 Mbps         | WiFi: 11 a 54 Mbps                         | Ilimitado           | 8,1 Mbps       |
| Compatibilidad IP         | Sí                       | Sí                     | Sí                                         | Sí                  | Sí             |
| Compatibilidad SNMP       | Sí                       | Sí                     | Sí                                         | Sí                  | Sí             |
| Protección a la Inversión | Sí                       | Sí                     | No                                         | No                  | Sí             |
| Seguridad de datos        | Alta                     | Alta                   | Baja                                       | Alta                | Alta           |
| Despliegue                | Rápido (1 día)           | Moderado (varios días) | Rápido (horas)                             | Varios meses        | Rápido (horas) |
| Instalación               | Fácil                    | Compleja               | Moderada                                   | Moderada a compleja | Fácil          |
| Licencia                  | No en USA, Japón y China | Sí                     | Sí                                         | No                  | No             |
| Interferencia             | No                       | Diferente              | Sí                                         | No                  | No             |
| Línea de vista            | Sí                       | Sí                     | No, interior<br>Sí, exterior               | No                  | No             |
| Operación transparente    | Sí                       | No                     | No                                         | Sí                  | Sí             |
| Precio                    | Bajo                     | Moderado               | Bajo                                       | Alto                | Bajo           |

**Tabla A.2.9 Comparación de Tecnologías**

(Fuente: <http://www.airfiber.com/tech/wireless.htm>)

### A.2.10 Costos Referenciales

Considerando valores referenciales de la industria de tecnologías FSO, se han encontrado valores FOB fluctuando entre USD 4.000 y USD 6.000 por par de equipos de transmisión y recepción sin considerar equipamientos adicionales, según la información disponible de los fabricantes mencionados en el apartado A.2.7.

Por ejemplo, si se considera un enlace, es decir 2 terminales de transmisión y recepción FSO respectivamente, equipados con capacidad de 4 x 2Mbps + 2 tarjetas Ethernet, el valor FOB está alrededor de USD 25.000 sin considerar servicios de instalación.

Considerando la instalación de un sistema FSO con su capacidad y costos asociados para cubrir una distancia de **6.000 metros**, versus la alternativa de ofrecer un servicio de banda ancha mediante una fibra óptica (FO), tenemos los siguientes costos para una capacidad de **8 Mbps**:

**FSO:** Inversión CIF aproximada de **USD 33.000** con servicios incluidos  
Este sistema instalado y operando en Chile, supone un costo por los servicios, similar para cualquier región del país, con una capacidad de 8 Mbps y 2 tarjetas para Ethernet.

**FO:** Sistema instalado y operando en el enlace de 6 Km.

**Equipos:**

|                                           |             |
|-------------------------------------------|-------------|
| Cable de FO 6 Km (8 fibras):              | USD 15.000. |
| Equipos de transmisión en ambos extremos: | USD 20.000  |
| Elementos de ferretería:                  | USD 5.000   |
| Inversión total FOB:                      | USD 40.000  |
| Inversión Total CIF:                      | USD 50.000  |

**Servicios Totales:** USD 10.000

**Sistema instalado y funcionando:** USD 60.000.

Las estimaciones anteriores reflejan que una instalación de un sistema de FSO es casi la mitad del costo de una instalación con FO, para lograr un alcance similar con igual capacidad de transmisión.

### A.2.11 Conclusiones FSO

El rango máximo posible al utilizar ésta tecnología también permite sacrificar velocidad del enlace a cambio de disponer de un enlace mas lejano; sin embargo, en esta situación se hacen mas notables los efectos de obstrucción del enlace, como la neblina, smog o las nuevas edificaciones de edificios, que para un enlace con línea de vista óptico lo afecta considerablemente.

El potencial de las tecnologías de redes denominadas Free Space Optics (FSO) se están convirtiendo en una opción popular para un acceso a banda ancha confiable, especialmente para resolver cuellos de botellas en comunicaciones de "última milla".

FSO es una opción de alta velocidad y fácil de implementar principalmente para la interconexión de edificios, lo que se traduce en un rápido despliegue para una red de backbone metropolitano.

El rango máximo posible al utilizar ésta tecnología también permite sacrificar velocidad del enlace a cambio de disponer de un enlace mas lejano; sin embargo, en esta situación se hacen mas notables los efectos de obstrucción del enlace, como la neblina, smog o las nuevas edificaciones de edificios, que para un enlace con línea de vista óptico lo afecta considerablemente.

Los carriers ópticos, a pesar de desbloquear el valor del activo de la fibra, necesitan resolver el problema de la última milla. Una de las soluciones es usar un sistema HFR.

Con HFR, los carriers pueden vender a un cliente y entregar velocidades tipo fibra y disponibilidades en días a un costo menor que el de tener un cable de fibra soterrado.

Un sistema HFR en USA, Japón o China es **NO Licenciado**, lo que significa que múltiples clientes pueden desplegar aquellos sistemas sin tener que pagar derechos por uso del espectro.

HFR pareciera ser una buena solución al problema de la última milla ya que permite además aumentar las ganancias con reducción de costos asociados.



### A.3 Tecnología HAPS (High Altitude Platform Stations)

#### Resumen

La demanda por los servicios inalámbricos de gran capacidad presenta grandes retos, especialmente para los proveedores de la última milla.

En Tierra, la necesidad de línea vista para la propagación representa una limitante, a menos que se instalen un gran número de estaciones base, mientras que los sistemas satelitales poseen limitaciones en cuanto a su capacidad; siendo ambas soluciones extremadamente costosas.

Una solución emergente, es la ofrecida por las plataformas de gran altitud, **HAPS** (High-Altitude Platforms Stations), las cuales operan en la estratósfera a altitudes de hasta 22 Km, proporcionando la factibilidad de comunicaciones que explotan las mejores características de ambos esquemas, terrestre y satelital.

Las HAPs dan una cobertura superior a 500 kilómetros. La combinación con equipos Wi-Fi, enlazados a nodos que reciben la señal de estas plataformas presenta interesantes alcances. Esta tecnología es superior a la de los satélites debido a que las HAPS pueden ser retornadas a tierra.

Las investigaciones desarrolladas para esta tecnología son realizadas por la Universidad de York, Institutos británicos e italianos en conjunto con los japoneses y la Unión Europea.

En este trabajo se muestran las principales características y aplicaciones de los HAPS, y algunos programas específicos para su desarrollo, de acuerdo con la información solicitada por Subtel.

También se muestran las principales consideraciones que hay que superar para la distribución de futuros servicios de banda ancha.

### **A.3.1 Introducción a HAPS**

Las HAPS (High-Altitude Platforms Stations) son plataformas estratosféricas, situadas alrededor de 22 kilómetros de altura sobre la tierra, siendo capaces de proporcionar una cobertura del orden de los 500 kilómetros o superior.

Entre los proyectos más recientes que utilizan este tipo de tecnología, se puede mencionar a la plataforma HELINET, el cual es un proyecto europeo coordinado por la Universidad Politécnica de Turín y apoyado por la Comisión Europea.

Este proyecto está orientado a crear plataformas de banda ancha, situadas en la estratósfera y alimentadas por energía solar. Desde el punto de vista de red se trata de una infraestructura de telecomunicaciones, que tiene forma de globo aerostático o de avión aerodinámico y sus funciones serán de vigilancia medioambiental, comunicaciones por banda ancha y geoposicionamiento e integración con el proyecto satelital Galileo, el cual está siendo liderado por la Comunidad Europea.

En Chile, el proyecto Globo Antena desarrollado en la Universidad Tecnológica Metropolitana, con una primera experiencia piloto el 21 de Noviembre del 2003, se alcanzaron interesantes resultados en el área de radiocomunicación digital para redes IP y Tele-monitoreo con imagen en tiempo real.

Este proyecto permitirá servir de distribuidor de señal radioeléctrica para comunidades digitales en banda ancha, fija / móvil, de manera rápida con fácil despliegue y bajo costo, contribuyendo a generar una infraestructura más homogénea que ayudara a reducir la brecha digital entre sectores desatendidos y los centros urbanos.

A medida que crece la demanda de servicios de comunicaciones, las soluciones inalámbricas han comenzado a tener mayor importancia. Estas conexiones pueden ofrecer grandes anchos de banda sin la necesidad de infraestructura fija y representando una solución al problema de la última milla, distribuyendo directamente el servicio al usuario y pudiendo representar en muchos escenarios el único mecanismo viable de distribución.

La tecnología inalámbrica es esencial para los servicios móviles (2G y 2.5G) y sus redes que se encuentran actualmente operativas, sin olvidar los avances que están sucediendo con las siguientes generaciones de móviles tales como 3G o 4G.

Los Accesos Inalámbricos Fijos (FWA) se han establecido para proveer telefonía y servicios de datos a las empresas y usuarios particulares.

El emergente mercado de los servicios de banda ancha orientados a la multimedia, representan una convergencia entre Internet a alta velocidad, telefonía, televisión, video bajo demanda y radioemisoras, entre otros servicios.

Los Accesos Inalámbricos Fijos de Banda Ancha (B-FWA) apuntan a la entrega de un rango de servicios multimedia hacia el usuario, que típicamente pueden llegar a los 2 Mbits/seg.

Estas tecnologías B-FWA deberían ofrecer mayores capacidades a los usuarios, que las proporcionadas por los servicios alámbricos o wireline, tales como ISDN, xDSL o cable módem.

La alternativa debería ser la Fibra Optica, pero su instalación puede ser prohibitiva debido los altos costos que éstas implican, representando una barrera para los nuevos proveedores de servicios.

Los servicios con tecnología de acceso B-FWA, estaban orientados inicialmente a las empresas, incluyendo las SoHo (Small Office/Home Office), aunque el mercado se está extendiendo rápidamente a los usuarios domésticos.

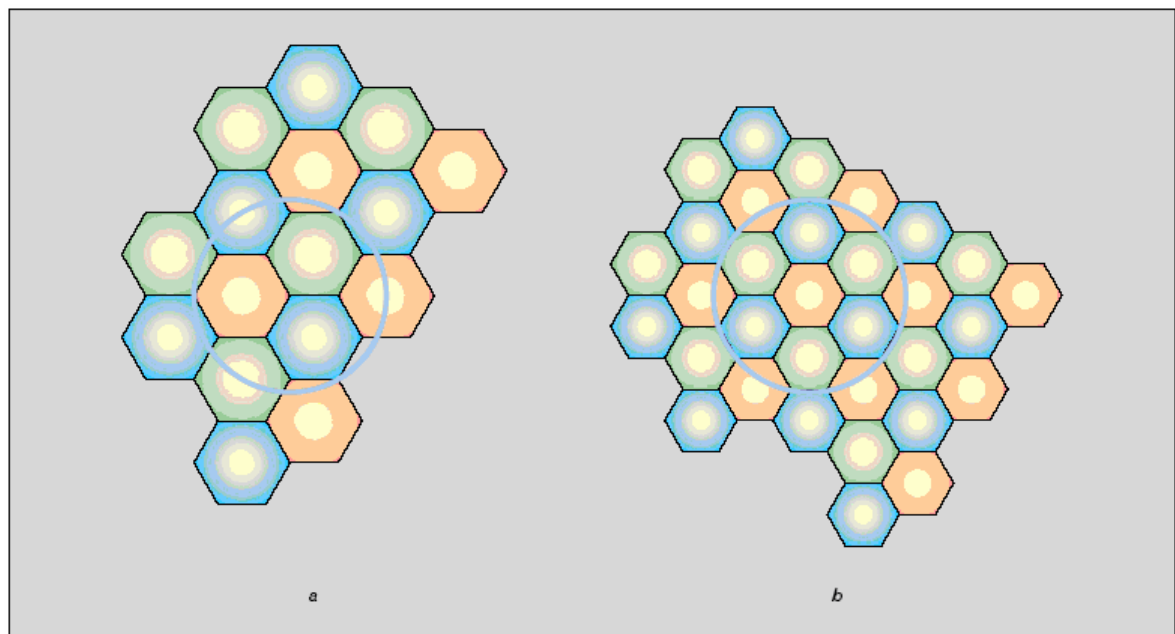
Sin embargo, la distribución de servicios inalámbricos de alta capacidad, presentan todo un reto, especialmente porque el espectro de radiofrecuencias es un recurso limitado.

Para proveer un ancho de banda a un gran número de usuarios, se deben utilizar algunas formas o estrategias para reutilizar las frecuencias, usualmente basada en la estructura fija de la red celular.

La Figura A.3.1 ilustra el concepto celular, donde cada hexágono representa una celda, teniendo una estación base cercana a su centro y empleando diferentes frecuencias o grupos de frecuencias, representados por los colores. Estas frecuencias son reutilizadas solo a cierta distancia, la distancia para reutilizarlas es una función de varios factores, incluyendo la propagación local en el medio ambiente y una aceptable señal a ruido e interferencia.

Para proveer un incremento en la capacidad, el tamaño de las celdas debe ser reducido, permitiendo así, que el espectro sea reutilizado un mayor número de veces dentro de un área geográfica, como se muestra en la Figura A.3.1-b.

Esta filosofía lidera el concepto de las micro-celdas por áreas de alta densidad de usuarios, con estaciones bases en cada esquina. De hecho, llevando el concepto al límite extremo, se podría considerar una celda por usuario, evidentemente el precio en este caso, unido al costo y el impacto ambiental lo harían irrealizable.



**Figura A.3.1 Concepto celular de reutilización de frecuencias**

La utilización del espectro radioeléctrico, ha obligado a moverse hacia bandas de frecuencias más altas, que están menos congestionadas y que pueden proveer un ancho de banda significativo.

Las ubicaciones principales, para servicios de banda ancha, se encuentran en la banda de los 28 GHz (26 GHz en algunas regiones), así como también en 38 GHz y 40 GHz.

Los esquemas existentes de banda ancha son variados, descritos como LMDS (Local Multipoint Distribution Services) o MVDS (Multipoint Video Distribution Services), éstos son conceptos flexibles para la distribución de servicios de banda ancha, aunque ellos pueden ser considerados genéricamente como B-FWA, o simplemente BWA.

El uso de las longitudes de onda milimétricas implica la necesidad de la propagación en línea de vista, que representa un reto, comparado con las bajas frecuencias. Así las obstrucciones locales pueden causar problemas y cada terminal de los clientes necesita ver la estación base, por esto una estructura micro celular es esencial por razones de propagación. Esto nuevamente implica la necesidad de un gran número de estaciones base.

Una solución a estos problemas puede ser la instalación de estaciones base con antenas localizadas a gran altura, con línea de vista a todos los usuarios. Sin embargo, esto podría ser no sólo costoso, sino que también técnicamente irrealizable.

Una alternativa como mecanismo de distribución, es vía satélite, los cuales pueden proporcionar línea de vista a muchos usuarios. De hecho los servicios de banda ancha de los Satélites Geoestacionarios (GEO), están proyectados para representar un mercado significativo en algunos años más. Sin embargo existen limitaciones en el desempeño de éstos sistemas, debido en parte a la distancia (36.000 Km.) que produce pérdidas de espacio libre del orden de 200 dB, así como los problemas físicos en las dimensiones de las antenas.

A estos problemas también se suma el retardo o Delay, producido por lo lejano del satélite, el cual bordea los 250 mseg., lo cual es muy alto para sistemas de este tipo, pudiendo causar algunos problemas con algunos protocolos de datos.

Los satélites de órbita Baja (LEO), pueden evitar algunas de esas limitaciones, pero sufre inconvenientes al realizar un rápido Handover, no sólo entre celdas, sino que entre plataformas. La necesidad de un gran número de satélites LEO, puede proveer una cobertura continua, significando a su vez una gran carga económica y tales esquemas todavía tienen que ser aprobados comercialmente.

### **A.3.2 Principio de Funcionamiento de la solución HAPS**

Una solución potencial para el problema de la distribución inalámbrica se encuentra en las plataformas aéreas o HAPS, que repiten las comunicaciones, intercambiando la información o payload, en un proceso casi en posición estacionaria, a una altitud alrededor de los 22 Km.

La carga puede ser una estación base completa, o simplemente un transpondedor, como la mayoría de los satélites. La línea de vista de la propagación puede ser provista a casi todos los usuarios, con una pequeña pérdida de espacio libre (LFS), permitiendo así entregar servicios que toman ventaja de lo mejor de ambos mundos, es decir de las comunicaciones terrestres y de las comunicaciones satelitales.

Una sola HAP puede reemplazar a un gran número de antenas terrestres, con sus respectivos costos asociados e impacto ambiental. Los problemas de la adquisición de los lugares físicos son eliminados, junto con los de instalación y mantenimiento, los cuales pueden representar gastos importantes en algunas regiones.

Las plataformas pueden ser aeroplanos o aeronaves (especialmente Globos, llamados dirigibles) que pueden ser tripulados o autónomos, manejados a control remoto desde tierra.

Lo más interesante de los diseños de estas naves, es que operan en la estratosfera a una altitud típica entre los 17 y 22 Km., por lo cual son llamadas plataformas de gran altitud.

Si bien el término HAP no tiene una definición rígida, se tiende a tomar en el sentido que son vehículos solares, no tripulados y con una duración de varios meses o algunos años.

Las HAPs están siendo desarrolladas por varios programas a lo largo del mundo, apoyados por la gran demanda de servicios inalámbricos, junto con el desarrollo de nuevos materiales, celdas solares y nuevas formas de almacenar la energía.

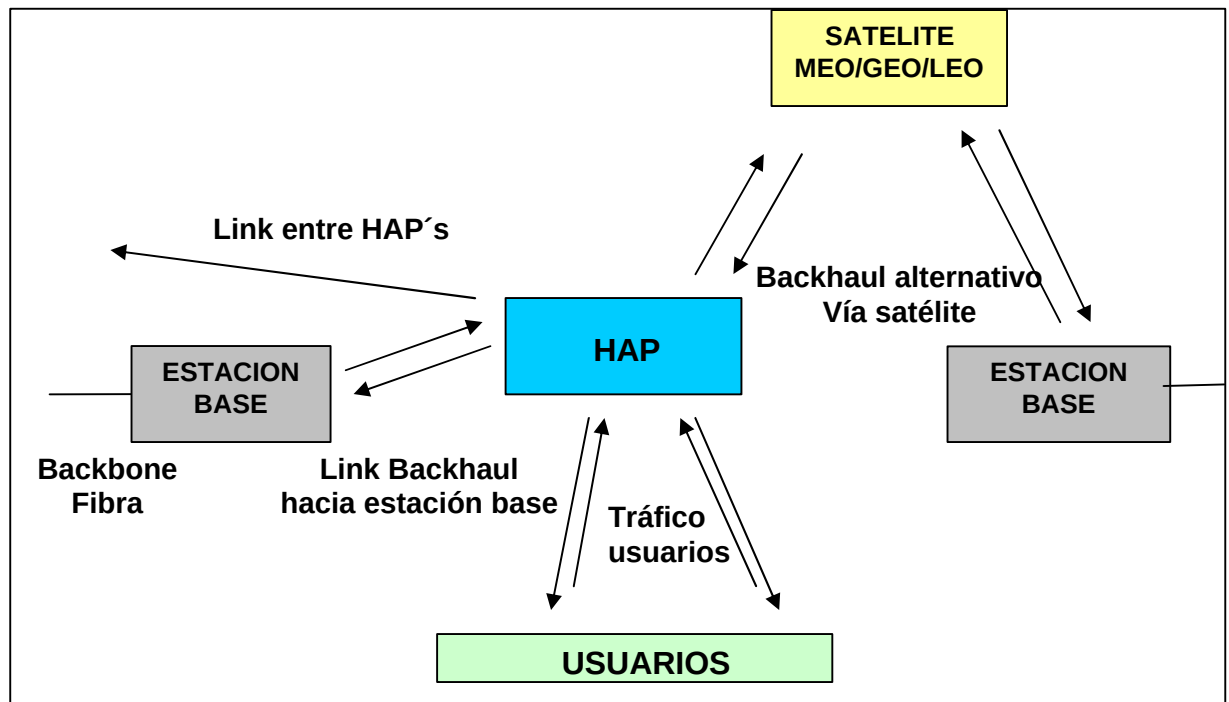
Tal como se explicaba anteriormente, su principio de funcionamiento es relativamente sencillo, se podría decir que una HAP, es una estación base, suspendida a una altura de 22Km, por lo cual puede proveer línea de vista a la mayoría de los usuarios que se encuentren dentro de su área de cobertura.

La HAP recibe y emite señales hacia una o varias redes de respaldo o Backhaul, que son interconectadas a las redes principales de los operadores de telecomunicaciones o Backbone terrestres.

De esta manera, la HAP distribuye y recibe las señales de los distintos subscriptores, enrutándolas hacia los Backhaul o hacia estaciones HAP.

Los Backhaul, pueden ser provistos desde dispositivos terrestres o satelitales. Este proceso se muestra en la Figura A.3.2 siguiente.

En estricto rigor, la HAP (Estación en Plataforma a Gran Altitud) se define en el número S1.66A del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT (RR) y en el Plan General de Uso del Espectro Radioeléctrico como una **«estación situada sobre un objeto a una altitud de 20 a 50 km y en un punto nominal, fijo y especificado con respecto a la Tierra»**.



**Figura A.3.2 Red de Interconexión de HAPS**

En definitiva, el sistema de HAPS comprende una HAPS, varias estaciones terrestres y numerosas estaciones de abonado móviles y fijas. En cada HAPS se instala una antena multihaz capaz de proyectar numerosos haces puntuales dentro de su zona de cobertura.

Las estaciones de abonado móviles y fijas del sistema HAPS son idénticas a las utilizadas con los sistemas terrestres de antenas de torre, tradicionales de la IMT-2000.

Los enlaces entre dos HAPS y los enlaces entre una HAPS y las estaciones terrestres del sistema HAPS no se establecerán en bandas designadas para las IMT-2000 y utilizarán frecuencias que no son propias de las IMT-2000.

La utilización por la HAPS de cualquier frecuencia propuesta para tales enlaces necesita ser estudiada y coordinada.

Los sistemas HAPS serán de naturaleza mundial, pero nacionales en cuanto a la prestación de servicios. Cada HAPS estará situada por encima del espacio aéreo comercial, a una altitud suficiente para dar servicio a una zona extensa pero lo bastante baja como para proporcionar una cobertura densa.

Las HAPS ofrecerán un nuevo medio de proporcionar IMT-2000 con una mínima estructura de red terrestre.

Cada plataforma tiene una capacidad potencial para servir a un gran número de usuarios, aún en zonas urbanas de alta densidad o sobre amplias áreas geográficas.

La atenuación por lluvias se restringe a los primeros km de la atmósfera, debido a que existe Línea de Vista para los enlaces desde la HAPS, requiriéndose una considerable menor infraestructura para servir a la misma área de cobertura, comparada con los servicios terrestres.

### A.3.3 Ubicación en el Espectro de Frecuencia

Hoy en día, **no existe una regulación bien definida** en cuanto al espectro en que pueden operar estas plataformas, existiendo solo algunas recomendaciones para evitar posibles interferencias con algunos sistemas existentes.

Para la distribución de servicios a través de estas plataformas, la ITU ha decidido asignar una disponibilidad de banda en tramos donde sea factible la implementación, de acuerdo con las Resoluciones que se indican a continuación:

Según la [Res 221](#) (Rev CMR-03), la ITU resolvió que:

- “1.1. Con el fin de proteger las estaciones móviles de las IMT-2000 en países vecinos contra la interferencia en el mismo canal, la densidad de flujo de potencia (dfp) en el mismo canal de una HAPS que funcione como estación de base de las IMT-2000 no rebase el valor de  $-117 \text{ dB (W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$  en la superficie de la Tierra fuera de la frontera de un país, a menos que la administración afectada lo acepte explícitamente en el momento de notificar la HAPS;
- 1.2. Las HAPS que funcionen como estación de base de las IMT-2000 no transmitan fuera de la banda de frecuencias **2.110 - 2.170 MHz en las Regiones 1 y 3, y de la banda 2.110 - 2.160 MHz en la Región 2.**
- 1.3. En la Región 2, con el fin de proteger las estaciones de los MMDS en algunos países vecinos en la banda 2.150-2.160 MHz contra la interferencia en el mismo canal, una HAPS que funcione como estación de base de IMT-2000 no rebase los siguientes valores de densidad de flujo de potencia en el mismo canal en la superficie de la Tierra fuera de la frontera de un país, a menos que la administración afectada lo acepte explícitamente en el momento de notificar la HAPS:



- $-127 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$  para ángulos de incidencia,  $\theta$  menores de  $7^\circ$  por encima del plano horizontal;
- $-127 + 0,666 (\theta - 7) \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$  para ángulos de incidencia entre  $7^\circ$  y  $22^\circ$  por encima del plano horizontal; y
- $-117 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$  para ángulos de incidencia entre  $22^\circ$  y  $90^\circ$  por encima del plano horizontal"

De acuerdo con la [Res 734 \(Rev CMR-03\)](#), la ITU resolvió recomendar a una futura CMR competente que considere la posibilidad de facilitar el establecimiento de sistemas que utilizan estaciones HAPS en los **servicios fijo y móvil en las bandas por encima de 3 GHz** atribuidas exclusivamente por el Cuadro de atribución de bandas de frecuencias o por notas a las radiocomunicaciones terrenales, teniendo en cuenta los estudios ya efectuados.

Otra Resolución importante es la [Res \[COM5/17\] \(CMR-03\)](#), la cual se refiere a la "Posible utilización de las bandas 27,5 – 28,35 GHz y 31 – 31,3 GHz por estaciones en plataformas a gran altitud (HAPS) en el servicio fijo", donde la ITU resolvió:

1. Invitar a la CMR-07 a que examine los resultados de los estudios especificados *infra* y las posibilidades adecuadas de mejorar las disposiciones reglamentarias para la utilización de las HAPS dentro de las **bandas 27,5 - 28,35 GHz y 31 - 31,3 GHz**.
2. Que, pese al número **4.15A**, en la Región 2, la utilización de HAPS dentro de las atribuciones del servicio fijo en las bandas 27,5 - 28,35 GHz y 31-31,3 GHz **deberá limitarse**, hasta que se concluyan los estudios especificados en el *invita al ITU-R 1*, a 300 MHz en cada banda; que tal utilización no deberá causar interferencia perjudicial a otras estaciones de servicios que funcionen conforme al Cuadro de atribución de bandas de frecuencias del Artículo **5**, ni reclamar protección contra éstas; y, además, que el desarrollo de esos otros servicios deberá proseguir sin limitaciones causadas por las HAPS conforme a la presente Resolución.
3. Que cualquier utilización por HAPS de la atribución al servicio fijo en la banda 27,5-28,35 GHz conforme al *resuelve 2* anterior deberá limitarse al funcionamiento en la dirección HAPS - tierra, y que cualquier utilización por HAPS de la atribución al servicio fijo en la banda 31 - 31,3 GHz deberá limitarse al funcionamiento en la dirección tierra – HAPS.
4. Que las administraciones enumeradas en los números **5.537A** y **5.543A** y a las administraciones de la Región 2 que tengan previsto introducir sistemas que utilizan HAPS en el servicio fijo en las bandas 27,5-28,35 GHz y 31-31,3 GHz traten de obtener, con carácter provisional, el acuerdo explícito con las administraciones vecinas con respecto a sus servicios

primarios a fin de asegurar que se satisfacen las condiciones indicadas en los números **5.537A**, **5.543A**, el *resuelve 2* y el *resuelve 5*.

- 5 Que los sistemas que utilizan HAPS en la banda 31-31,3 GHz, conforme al *resuelve 2*, no causarán interferencia perjudicial al servicio de radioastronomía que tenga una atribución a título primario en la banda 31,3-31,8 GHz, teniendo en cuenta los criterios de protección indicados en la Recomendación ITU-R RA.769. Con miras a garantizar la protección de los servicios pasivos de satélite, el nivel de la densidad de potencia no deseadas en una antena de estación terrena HAPS en la banda 31,3-31,8 GHz estará limitado a  $-106$  dB(W/MHz) en condiciones de cielo despejado, y podría aumentarse hasta  $-100$  dB(W/MHz) en condiciones de pluviosidad, para tener en cuenta la atenuación debida a la lluvia, a reserva de la repercusión efectiva en el satélite pasivo no supere la repercusión correspondiente a las condiciones de cielo despejado citadas.

De igual manera mediante la [Res 122 \(Rev CMR-03\)](#), la ITU resolvió:

1. Que se aliente a las administraciones a que faciliten la coordinación entre los sistemas del servicio fijo que emplea HAPS que funcionan en las bandas **47,2 - 47,5 GHz y 47,9 - 48,2 GHz**, y los sistemas de los servicios coprimarios en las mismas bandas;
- 2 Que se empleen con carácter provisional los procedimientos del Artículo 9 para la coordinación entre los sistemas por satélite y los sistemas que utilizan estaciones HAPS en las bandas 47,2 - 47,5 GHz y 47,9 - 48,2 GHz
- 3 Que se invite a la CMR-07 a examinar en las bandas 47,2 - 47,5 GHz y 47,9 - 48,2 GHz los resultados de los estudios.

Por la información anterior, estas plataformas pueden ser clasificadas como terrestres, por lo cual se permite su operación en varias bandas de frecuencia, siendo las que están bajo análisis en la ITU las siguientes:

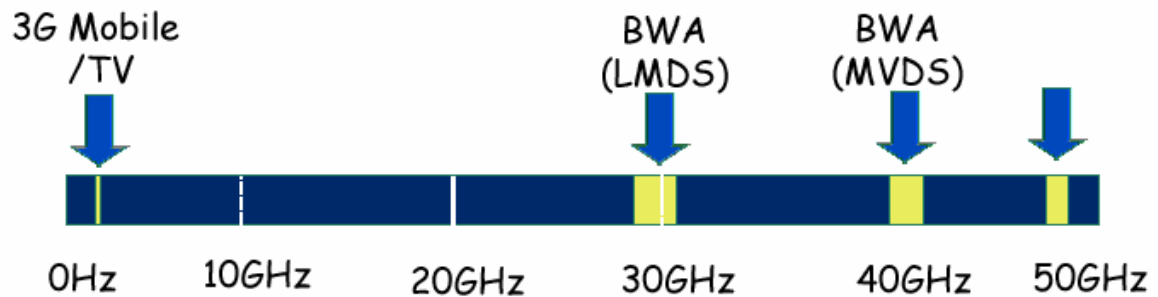
**Tabla A.3.1**

| Resolución ITU         | Bandas de frecuencias                                                                   | Observación                                                                                |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Res 221 (Rev CMR-03)   | <b>2.110 - 2.170 MHz</b><br>(Regiones 1 y 3)<br><b>2.110 - 2.160 MHz</b><br>(Región 2). | HAPS no deben transmitir fuera de banda<br>Restricciones en densidad de flujo de potencia. |
| Res 734 (Rev CMR-03)   | <b>Sobre 3 GHz</b>                                                                      | Considera la posibilidad de facilitar el establecimiento para servicios fijo y móvil.      |
| Res [COM5/17] (CMR-03) | <b>27,5 - 28,35 GHz, y 31 - 31,3 GHz</b>                                                | Posible utilización de estas bandas                                                        |
| Res 122 (Rev CMR-03),  | <b>47,2 - 47,5 GHz, y 47,9 - 48,2 GHz</b>                                               | Se invita a la CMR-07 a examinar los resultados en estas bandas.                           |

**Tabla A.3.1 Bandas de frecuencias en estudio por la ITU**

Se adjuntan las Resoluciones de la ITU, anteriormente mencionados.

Dada la distribución de bandas de interés indicadas en la Tabla A.3.1, podemos observar en la Figura A.3.2, que este tipo de plataformas es muy flexible para un uso de soporte para algunos servicios de telecomunicaciones.



**Figura A.3.2 Bandas utilizables por las HAPS, junto a algunos servicios que este sistema puede apoyar. (ver Tabla A.3.1)**  
(Fuente: University of York)

La idea es que este tipo de plataformas pueda ofrecer casi todos los servicios existentes y futuros, ya que se pueden considerar como simples estaciones bases que se encuentran suspendidas en el aire, otorgándoles una serie de beneficios que se señalarán a lo largo del presente trabajo.

### A.3.4 Tipos de HAPS

#### A.3.4.1 Globos

Las primeras plataformas aéreas desarrolladas fueron globos, cuya historia se remonta a la antigua China. Luego, el desarrollo de estos globos se debió en gran medida a las fuerzas armadas, que los utilizaban para aplicaciones en las comunicaciones, pero en forma muy limitada. A principios del siglo 20, estas aeronaves rígidas fueron desarrolladas por la compañía Zeppelin, en Alemania, para el transporte de pasajeros, logrando una hazaña de la ingeniería permitiendo a los pasajeros, viajar de Europa hasta América del Sur.

Desafortunadamente, esta época tuvo un abrupto fin, con el desastre de Hindenburg en Lakehurst, USA en 1937. La causa precisa del desastre fue el uso de hidrógeno, altamente inflamable para que la nave se elevara, lo que no se consideró aceptable luego del desastre y, con el desarrollo de la aviación comercial, después de la segunda guerra mundial, estas grandes aeronaves pasaron a la historia.

Luego la actividad se consignó principalmente a los globos de aire caliente, para propósitos recreacionales y a pequeños globos para usos meteorológicos. Estos últimos pueden operar hasta una altura de 5000 metros, aunque allí existen complicaciones evidentes, por la seguridad del tráfico aéreo y su uso está altamente restringido.

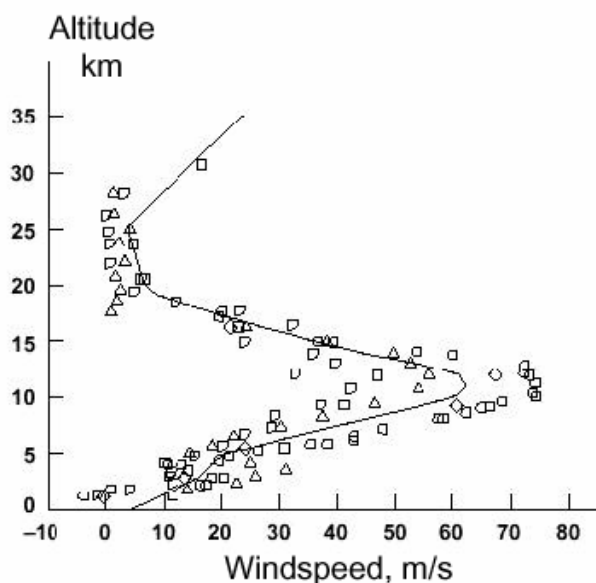
En los últimos años se ha visto el resurgimiento por el interés en los Globos y dirigibles. Con el desarrollo de la tecnología, tal como nuevos plásticos altamente resistentes a la radiación UV y a prueba de escape de Helio, el cual es el más utilizado en lugar del económico Hidrógeno.

Tales dirigibles de alta tecnología han ofrecido una buena forma para recorrer la Tierra.

Pero la mayor meta comercial reside en el desarrollo de un HAP estratosférico, capaz de ofrecer servicios de comunicaciones económicos y con un alto grado de rentabilidad. El mayor reto consiste en desarrollar dirigibles o aeronaves capaces de mantener una posición fija, de cara al viento.

Ha sido elegido un funcionamiento entre 17 y 22 Km, debido a que en la mayoría de las regiones del mundo, en esta capa se presentan vientos moderados y turbulencia, como se aprecia en la Figura A.3.3.

Esta altitud (mayor a 55.000 ft.o 16.764 metros), se encuentra sobre el tráfico aéreo comercial, que de otra manera sería un problema potencial.



**Figura A.3.3 Se muestra la intensidad del viento, respecto a la altura sobre el nivel del mar. (Fuente: University of York)**

#### A.3.4.2 Dirigibles HAPS

Las propuestas para la implementación de dirigibles de gran altura, utilizan grandes contenedores de Helio semi-rígidos o flexibles, del orden de 100 o más metros de largo.

Para ubicar la estación y para que el dirigible vuele contra el viento predominante son usados motores eléctricos y propulsores. La energía principal es requerida para la propulsión y fijación de la estación, como también para la transmisión de la información (Payload) y otras aplicaciones.

Esta es proporcionada por celdas solares de bajo peso, en forma de hojas largas y flexibles, que pueden pesar típicamente bajo los 400 gr/m<sup>2</sup> y que recubren la superficie superior del dirigible.

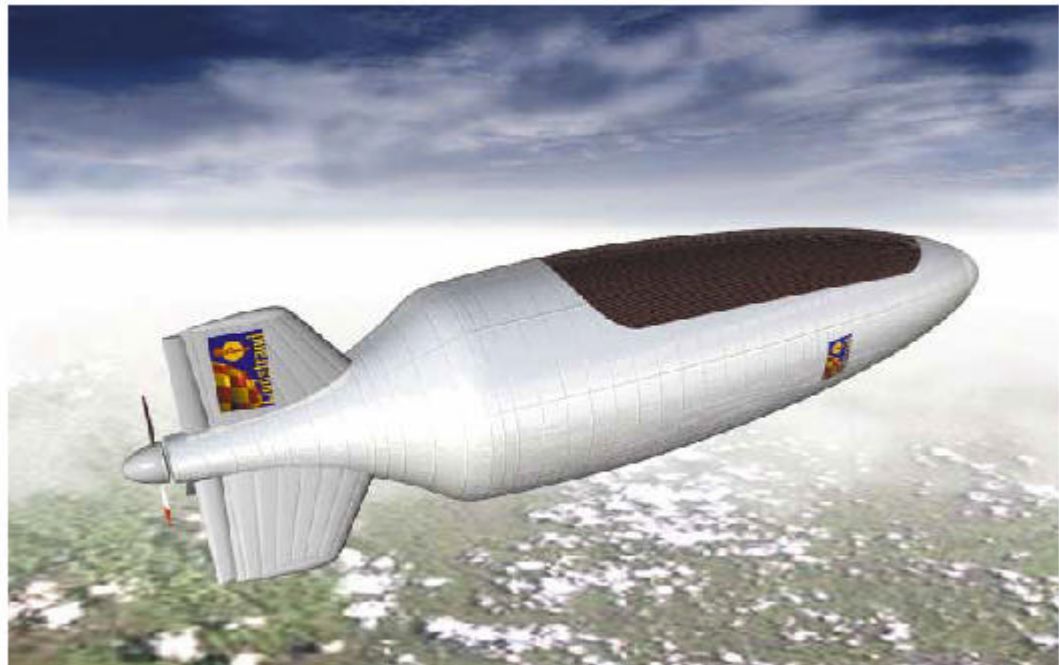
Adicionalmente, durante el día, la energía es almacenada en celdas de poder recargables, las que proveerán la energía necesaria para funcionar durante la noche.

El balance de energía total a largo plazo de una HAP es el factor crítico, y será el desempeño y el envejecimiento de las celdas de poder, las que determinen la duración de la misión. Sin embargo, esto es mitigado por el hecho de que es relativamente fácil traerlos nuevamente a tierra, para prestarles servicio o reemplazar las celdas de poder, así como otro tipo de mantenimiento o mejora.

Uno de los mayores proyectos de dirigibles HAPS, es el proyecto Japonés **SkyNet** el cual fue fundado sustancialmente por el gobierno japonés y dirigido su desarrollo en Yokosuka Communications Research Laboratory.

Este proyecto apunta a producir una red integrada de 15 dirigibles, que cubrirán la mayor parte de Japón, entregando servicios de comunicación y banda ancha, así como también broadcasting, operando en la banda de los 28 GHz.

En la Figura A.3.4 se muestra una forma de dirigible solar no tripulado, actualmente en estudio.



**Figura A.3.4. Ejemplo de un posible dirigible solar no tripulado**  
(Fuente: University of York)

#### **A.3.4.3 Aeroplanos HAPS**

Otra forma de HAP son los aviones solares, los que necesitan volar contra el viento o en una trayectoria circular.

Nuevamente, el reto principal es como mantener el balance de energía, dado que el avión debe ser capaz de almacenar suficiente energía para mantenerse operativo durante la noche.

Los mayores desarrollos como aeroplanos son: AeroVironment en USA, con alas de 75 metros, el Pathfinder y el programa Centurión, que ya han realizado vuelos de prueba, alcanzando 25 Km de altura.

En las Figuras A.3.5 y A.3.6 se muestran aeroplanos en desarrollo en los Estados Unidos.



**Figura A.3.5. Aeroplano no tripulado, basado en energía solar, desarrollado por la NASA (Fuente: University of York)**



**Figura A.3.6. Aeroplano tripulado desarrollado por el ejército de USA (Fuente: University of York)**



#### A.3.4.4 Otras Plataformas Aéreas

Otra categoría de plataformas aéreas son las UAV (Unmanned Aerial Vehicle). Estas se refieren típicamente a pequeñas aeronaves no tripuladas, que realizan misiones de corta duración y operan generalmente a alturas moderadas. El principal uso de las UAV es para vigilancia militar. Las aplicaciones de estas plataformas como nodos de conmutación, se encuentra muy limitada debido a su corta vida o duración.

Las UAVs militares de gran envergadura incluyen el Global Hawk y el Predator, los cuales pueden soportar grandes cargas y volar por largas distancias, pero no son consideradas eficientes en costos para el uso civil en telecomunicaciones.

El reto evidente es el peligro presentado por el tráfico aéreo, aunque algunos han sido desarrollados en zonas de exclusión aérea, sus aplicaciones generales se refieren a pequeñas zonas geográficas.

En la Figura A.3.7 se muestra la plataforma Predator de USA.



**Figura A.3.7. Predator, desarrollado por el ejército de USA y utilizado como vehículo espía y base de transmisiones. (Fuente: University of York)**

#### A.3.5 Aplicación en las Comunicaciones

En la Figura A.3.2, se muestra el escenario general de comunicaciones con HAPs, donde los servicios pueden ser provistos por un solo HAP con links de subida y bajada a los usuarios finales que junto con los enlaces de backhaul, es necesario considerar un Backbone de fibra.

Los enlaces entre las HAPs pueden servir para interconectar redes de HAPs, mientras que los enlaces también pueden ser establecidos vía satélite directamente desde el HAP, si fuese necesario.



La región de cobertura ofrecida por un HAP, está determinada esencialmente por la propagación en línea vista (por lo menos en las bandas de alta frecuencia) y el ángulo mínimo de elevación respecto a la estación terrestre.

En la práctica el menor ángulo de elevación para servicios BWA debe ser 5°, mientras que 15° es más comúnmente utilizado para evitar los problemas de traslape en tierra.

**Desde 20 Km de altitud sobre terreno liso, 5 cubren un área de 200 Km de radio o 120.000 Km<sup>2</sup>**, aunque para muchos servicios o aplicaciones entregados en una ciudad o área urbana, una cobertura de este tipo no es requerida o apropiada.

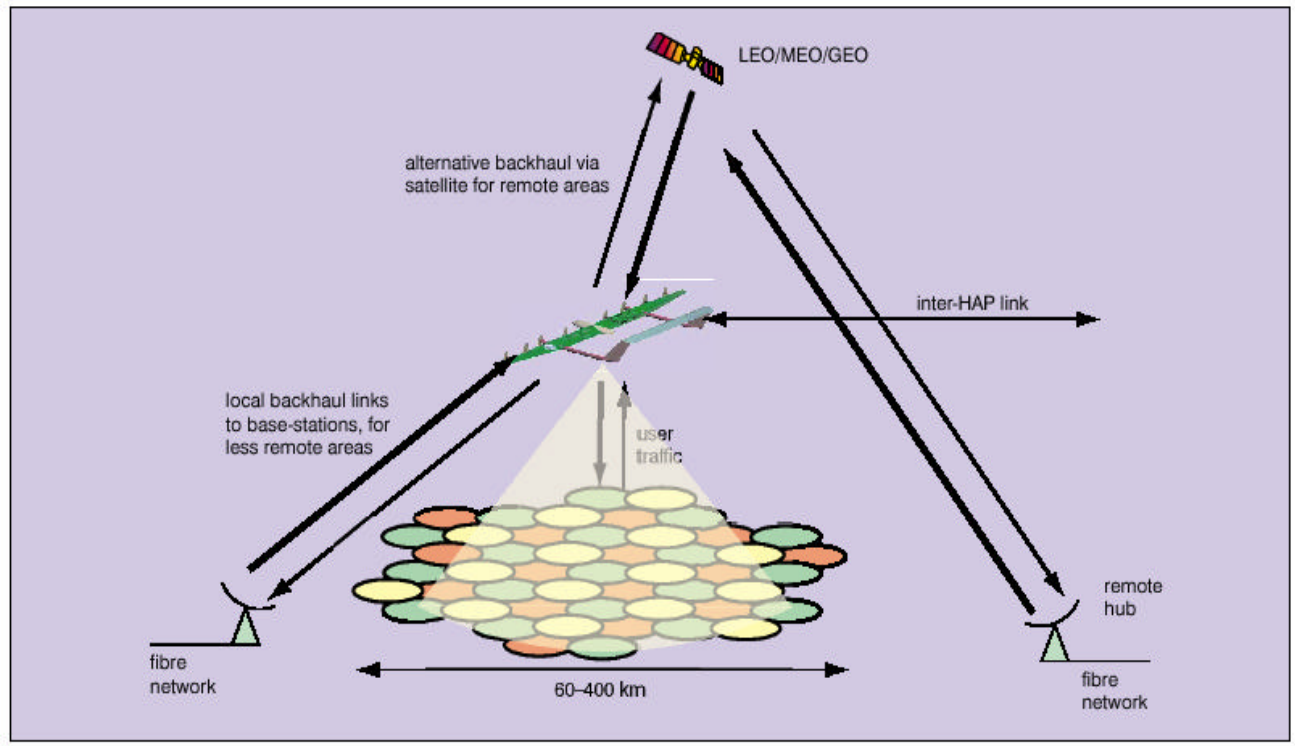
Existe la posibilidad de subdividir esta área en un gran número de pequeñas zonas de cobertura, o celdas, para proveer una gran capacidad total, optimizada por el uso de planes de reutilización de frecuencias.

El tamaño, número y formas de estas celdas dependen del diseño de las antenas del HAP, con la ventaja que la configuración de las celdas puede ser determinada en forma central en el HAP y así ser reconfigurada y adaptada para los requerimientos de tráficos existentes.

En profundidad, la arquitectura del HAP se presta fácilmente para la adaptación de recursos y técnicas, que pueden entregar un uso eficiente del ancho de banda y maximizar la capacidad.

La gran capacidad de las HAPs facilita en gran medida, el establecimiento de enlaces, en comparación con los satélites, ya que el HAP está relativamente cerca, esto representa una ventaja energética de alrededor de 34 dB en comparación con los satélites LEO, o 66 dB en comparación con un satélite GEO.

Comparado con los esquemas terrestres, una sola plataforma HAP puede ofrecer una capacidad equivalente a la entregada por un gran número de estaciones base, y además, la geometría del enlace puede evitar la mayoría de los obstáculos presentes en tierra. La Figura A.3.8 muestra la interconexión de enlaces mediante HAPs.



**Figura A.3.8 Esquema tradicional de una comunicación utilizando HAPs**  
(Fuente: University of York)

#### **A.3.5.1 Aplicaciones de Acceso con Banda Ancha Inalámbrica**

La principal aplicación para las HAPS es para BWA, que se describe como una tecnología con el potencial de proveer grandes flujos de datos al usuario final.

La ubicación de las frecuencias para los **HAPs de 47/48 GHz**, actualmente en estudio podrían ofrecer **2 x 300 MHz de ancho de banda**, el cual puede ser repartido 50:50 para usuarios y enlaces backhaul y otra vez 50:50 para los enlaces de subida y bajada.

Estudios realizados, basados en el **Helinet** proponen un esquema de cobertura total para la región. HAP con diámetros de **60 Km, teniendo 121 celdas**, cada una con un **diámetro nominal de 5 Km**.

La energía utilizada por el enlace de bajada es de 1 Watt por celda, y este puede ofrecer **tasas de transferencia de hasta 60 Mbps**, el cual esta conforme al ancho de banda requerido por celda de 25 MHz, cuando se utiliza QAM-16 o mayores esquemas de modulación.

Es evidente que los requerimientos de backhaul son estrictos, así como los enlaces de los usuarios, ya que por principio, lo que sube y baja debe ser

igual. Un solo enlace inalámbrico no puede ofrecer la capacidad total de backhaul, debido a ello, esto deberá ser manejado por esquemas celulares.

De esta manera, se necesitará un número de estaciones terrestres backhaul distanciadas, mientras más distantes se encuentren manejarán un mayor número de usuarios, por lo cual el enlace de backhaul deberá ser de especificaciones rigurosas, manejando una gran capacidad con esquemas de modulación muy eficientes.

Estas estaciones tienen que estar siempre visibles, y dentro del área de cobertura, por lo cual la mejor opción para su ubicación es sobre los edificios.

Las HAPS pueden ofrecer este servicio hasta en un área de 500 Km. de diámetro, con aproximadamente 20 estaciones base, por los motivos recién descritos (backhaul).

Todos los usuarios en el área pueden acceder al servicio, a través de pequeñas antenas externas (de unos 15 cm. de diámetro o menos).

En Gran Bretaña, la mayor competencia para este servicio es la fibra óptica, debido a las zonas altamente pobladas. En regiones con mayor dispersión geográfica como USA, la fibra no es muy viable, debido a la poca demanda de servicios de banda ancha por Km<sup>2</sup>.

#### **A.3.5.2 Aplicaciones 2G/3G**

Las HAPs pueden ofrecer la oportunidad de desplegar la nueva generación de **servicios celulares móviles (3G) o la actual (2G)**, utilizando las bandas designadas para el IMT-2000, las cuales han sido establecidas por la ITU, y han autorizado su uso en los sistemas HAPS. Una simple estación base sobre una HAP con una antena de gran apertura, puede cubrir una extensa área, lo cual puede representar una ventaja en regiones con poca densidad poblacional.

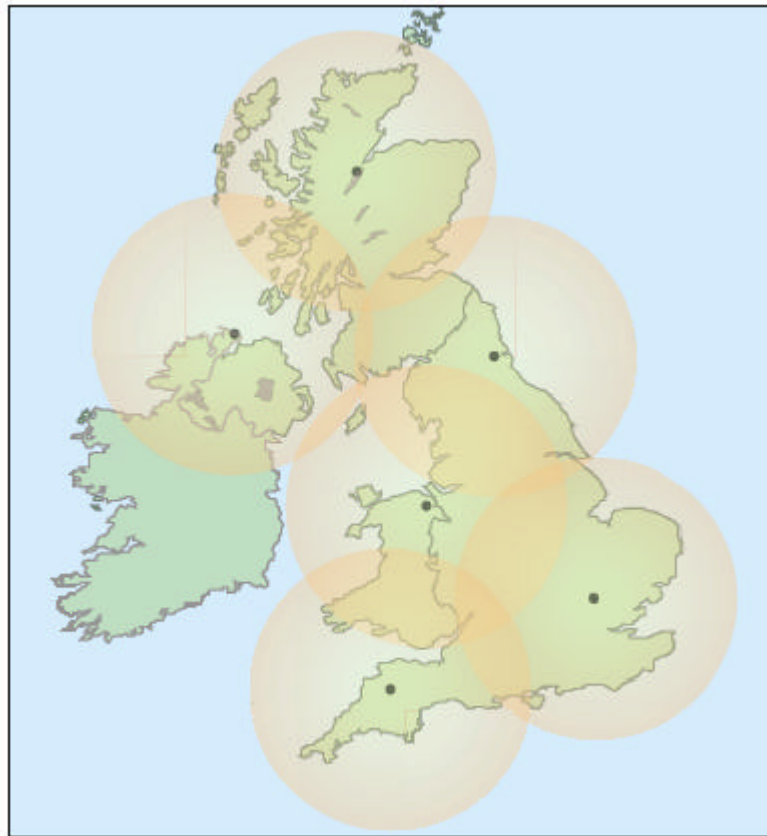
Alternativamente, un número de pequeñas celdas pueden ser desplegadas con antenas más direccionales. Los beneficios de esta tecnología son el rápido despliegue para la cobertura de una región extensa y la eliminación de muchas estaciones base.

#### **A.3.5.3 Redes HAPS**

Un gran número de HAPS pueden ser desplegados en una red, con el fin de cubrir una región entera.

Por ejemplo en la Figura A.3.9, se muestran varios HAPs cubriendo el Reino Unido.

Los enlaces entre HAPs pueden ser realizado a altísimas frecuencias, o utilizando enlaces ópticos, como la tecnología utilizada entre satélites, sin presentar mayores problemas.



**Figura A.3.9 Esquema de una posible red HAP, para brindar comunicaciones a todo el Reino Unido (UK). (Fuente: University of York)**

#### **A.3.5.4 Utilización de HAPS para la comunicación de grandes Empresas**

Las principales empresas como la del **aceite, petróleo, gas y empresas mineras**, operan en áreas remotas y, además, se encuentran repartidas o fraccionadas en varias partes requiriendo una variedad de comunicaciones entre ellas.

Las HAPs tienen la ventaja sobre el satélite de estar más cercanas a tierra, por lo cual resulta más sencillo y rápido instalar antenas portables en tierra.

Las HAPs pueden entregar a las compañías todo el tipo de comunicaciones que ellas necesiten, como **televisión privada**, comunicaciones de **altos flujos de datos**, **servicios móviles** dentro del área cubierta y también

servicios de **datos de baja capacidad**, utilizado para el monitoreo de pequeñas estaciones o secciones.

#### **A.3.5.5 Utilización de HAPS en eventos y servicios de emergencia**

Las HAPS pueden ser desplegadas para **cubrir eventos** como grandes eventos deportivos y conciertos, entre otros, o para proveer comunicaciones de **emergencia** luego de un desastre natural, como terremotos o inundaciones.

Nuevamente las ventajas que otorga el rápido y fácil despliegue de un sistema HAP, en comparación a uno terrestre, unido al bajo consumo de energía, hacen que esta tecnología sea ideal para este tipo de situaciones.

En caso de un desastre, se podría esperar un uso intensivo de comunicaciones de voz y aplicaciones de Internet. Para la mayoría de los eventos, el tipo de servicio de comunicación que se requerirá dependerá del propio evento.

#### **A.3.5.6 Comunicaciones Militares**

El atractivo de las HAPS para las comunicaciones militares es evidente, debido a la habilidad de su rápido despliegue. Ellos pueden actuar como nodos dentro de una red militar inalámbrica o como simples transpondedores. Además tienen la habilidad de proveer comunicaciones en lugares donde no podrían existir, este es un beneficio del relativamente cerrado rango de demanda, sólo limitado por la potencia de transmisión desde las estaciones en tierra.

Lo anterior provee ventajas tal como características de Baja Probabilidad de Intercepción de señales o LPI (Low Probability of Interception), por lo cual los hace especialmente favorables para este tipo de transmisiones.

Dentro de los escenarios militares, los aeroplanos o dirigibles son comúnmente utilizados con poca carga, sólo la necesaria para operaciones de detección y despeje de minas y otras aplicaciones para comunicaciones, que recién comienzan a ser explotadas.

#### **A.3.6 Algunos Proyectos Existentes**

En la actualidad **no existen HAPS en operación**. Comercialmente, sólo existen proyectos en desarrollo que contemplan prototipos para las pruebas iniciales y desarrollos de las nuevas tecnologías y métodos para superar los retos antes mencionados.

Uno de los proyectos más recientes es la plataforma **HELINET**. El proyecto europeo HeliNet, [www.helinet.polito.it](http://www.helinet.polito.it), coordinado por la Universidad

Politécnica de Turín y apoyado por la Comisión Europea, trata de crear plataformas de banda ancha situadas en la estratósfera y alimentadas por energía solar.

Se trata de una infraestructura de telecomunicaciones que tiene forma de globo aerostático o de avión aerodinámico y que está pensada para tareas de geoposicionamiento e integración con Galileo (el GPS europeo), vigilancia medioambiental y comunicaciones por banda ancha.

HeliNet presenta como ventaja básica su reducido costo frente a los sistemas de satélites.

El proyecto, en el que participan, además, la Universidad Politécnica de Catalunya y la empresa española CASA, ha sido señalado por observadores consultados como una posibilidad certera, alternativa a los satélites, y que podría desempeñar un papel clave en comunicaciones inalámbricas. Algunas fuentes indican que se están desarrollando soluciones para el estándar 802.16a (o WiMax).

**HELINET**, fundado por European Framework V, con una duración aproximada de 4 años, partió en enero del 2000. Este proyecto pretende examinar las principales limitantes aeronáuticas para la distribución de tres servicios: comunicaciones de banda ancha, monitoreo ambiental y localización de vehículos.

Este proyecto es liderado por la Universidad de York, en el área de las telecomunicaciones.

En Chile, el proyecto **Globo – Antena** podría permitir la distribución de señal radioeléctrica para comunidades digitales en banda ancha, fija o móvil, de manera rápida con fácil despliegue y bajo costo, contribuyendo a generar una infraestructura más homogénea que ayudará a reducir la brecha digital entre sectores desatendidos y los centros urbanos.

Este proyecto ha sido desarrollado en la Universidad Tecnológica Metropolitana, con una primera experiencia piloto el 21 de Noviembre del 2003, donde se alcanzaron interesantes resultados en el área de radiocomunicación digital para redes IP y tele-monitoreo con imagen en tiempo real.

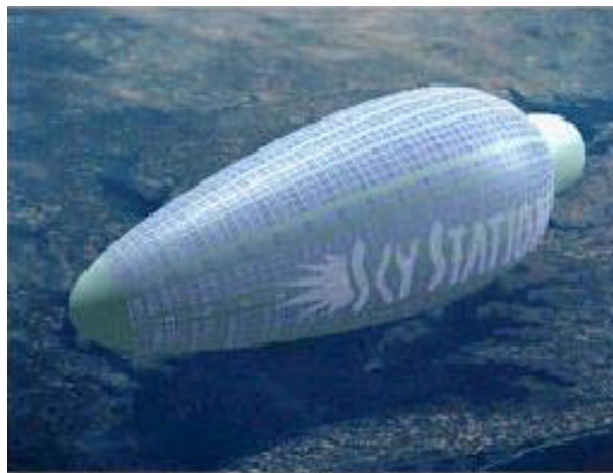
Entre otros proyectos más importantes, se destacan:

**SkyNet**: Fundado sustancialmente por el gobierno japonés y dirigido en *Yokosuka Communications Research Laboratory*, este proyecto apunta a producir una red integrada de 15 dirigibles, que cubrirán la mayor parte de Japón, entregando servicios de comunicación y banda ancha y broadcasting, operando en la banda de los 28 GHz.



**Figura A.3.10 Proyecto Skynet (Fuente: Yokosuka CRL)**

**StratSat:** La Figura A.3.11 muestra una plataforma aérea de gran altitud denominada StratSat planeada en Inglaterra por la compañía “Advanced Technology Group (ATG)”



**Figura A.3.11 Proyecto StratSat (Fuente: ATG)**

**SkyLARC:** Es una empresa nueva formada por la Universidad de York, con el fin de desarrollar comunicaciones a través de HAPs. En primera instancia la empresa trabajará en el proyecto Helinet, luego actuará como integrador estratégico entre los proveedores de servicios, constructores de HAPs y equipos de telecomunicaciones.

Las plataformas existentes, son aeroplanos desarrollados principalmente por el gobierno de USA, con objetivos militares o científicos (NASA).

**CAPANINA:** El proyecto Capanina nace con la intención de diseñar un sistema de comunicaciones cuyo costo reducido permita ofrecer una conexión a las redes de comunicaciones para lugares donde la instalación de redes convencionales (basadas en la telefonía tradicional o el cable) es demasiado costosa, y en los que los servicios de satélite no resultan rentables.

El primer objetivo es comunicar por banda ancha a las zonas rurales de toda Europa en un plazo de cuatro años. Para lograrlo, centros de investigación de todo el mundo se proponen utilizar globos aerostáticos, dirigibles y aviones sin piloto propulsados con energía solar que volarían a tan sólo una veintena de kilómetros de la tierra, a diferencia de los satélites de telecomunicaciones que orbitan a unos 36.000 kilómetros de altitud.

La cobertura de ese sistema de transmisión de proximidad se reduciría a una zona de 100 a 200 kilómetros de diámetro, pero "multiplicaría enormemente la capacidad de transmisión de datos", según dijo John Farserotu, experto en telecomunicaciones inalámbricas del CSEM (Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique SA.)

Con este proyecto se pretende establecer conexiones en banda ancha a una velocidad 2.000 veces superior que con un módem convencional y 200 veces superior a la de la ADSL, pero por ahora sólo se prevee alcanzar los 120 megabits por segundo

Las primeras pruebas sobre el sistema se efectuarán durante el segundo semestre del 2004, con el vuelo de los prototipos de los aparatos para verificar la efectividad de las transmisiones. Los científicos tienen que resolver todavía algunas cuestiones técnicas como la atenuación de la señal de comunicación por radio cuando llueve o bien las dificultades de estandarización. Una vez solucionados esos y otros problemas, las aplicaciones comerciales del nuevo sistema podrían comenzar a **partir del año 2006**.

El aspecto más innovador del proyecto es que contempla el uso de un avión que parece más una plataforma volante con alas cóncavas orientadas para captar el máximo de energía solar y utilizarla para mantenerse planeando en la atmósfera y a la vez transmitir datos.

Los científicos advierten que **"todavía quedan por resolver numerosas cuestiones técnicas"**, pero subraya que las aplicaciones de ese sistema beneficiarían particularmente a zonas que requieren una cobertura urgente de telecomunicaciones o un refuerzo de los sistemas debido a acontecimientos excepcionales.

En casos de emergencias ese sistema de telecomunicaciones "podría implantarse fácilmente en cuestión de horas" y favorecer así la operatividad de los equipos de rescate. También en grandes acontecimientos, como por



ejemplo unos Juegos Olímpicos, en los que se requiere incrementar la capacidad de las redes, ese sistema permitiría multiplicar la cobertura.

Dado que se pretende que sea **un sistema a lo menos diez veces más barato que los satélites**, Capanina también facilitaría el desarrollo de las telecomunicaciones en zonas escasamente habitadas de África y Oriente Medio, donde el costo técnico de instalación de líneas resulta muy elevado.

Según uno de los responsables del proyecto en la Universidad de York, David Grace, el costo de esta infraestructura sería hasta diez veces más barato que la de un satélite de telecomunicaciones, con la ventaja de que podrían descender fácilmente para su mantenimiento y reparación evitando los costosos viajes espaciales.

### **A.3.7 Ventajas y Características de las comunicaciones utilizando HAPS**

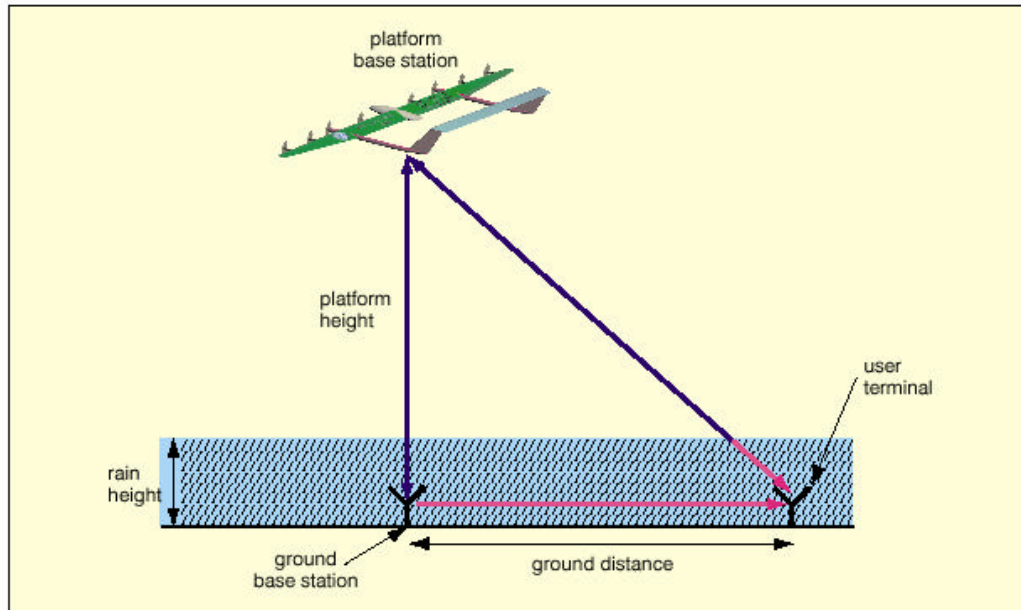
**Rápido Despliegue:** Un HAP puede ser ubicado en una estación, en solo un par de horas. Estas claras ventajas en términos de la rapidez del despliegue del servicio, hace que los proveedores puedan entrar al negocio antes que su competencia, como un complemento a sus redes terrestres que pueden estar saturadas o haber fallado a causa de un desastre o emergencia.

**Costo Relativamente Bajo para Mejorar las Plataformas:** Las HAPs pueden durar típicamente periodos de uno o más años. Pero ellas pueden ser bajadas fácilmente, para realizar cambios o reconfiguraciones en sus sistemas.

**Capacidad de Banda Ancha:** Las HAPs pueden proporcionar línea vista a la mayoría de los usuarios y gracias a esto se pueden utilizar altas frecuencias, las cuales proporcionan mayores anchos de banda.

**Grandes Áreas de cobertura y pocos problemas de obstrucción (comparado con los terrestres):** La geometría de las HAPs permite que los enlaces largos experimenten una atenuación relativamente pequeña a causa de la lluvia, en comparación con los enlaces terrestres a la misma distancia, debido a que el camino es más corto a través de la atmósfera, como se muestra en la Figura A.3.12.

Esto puede tener un aumento significativo en el alcance de los enlaces, pudiendo obtener celdas que cubran una mayor área, especialmente en bandas de altas frecuencias. De esta forma las HAPs ofrecen menores atenuaciones, en comparación con los enlaces terrestres.



**Figura A.3.12** Se muestra la diferencia entre el camino recorrido por un enlace HAP y uno terrestre. (Fuente: University of York)

**Gran Capacidad de los sistemas:** Usando el esquema celular de reutilización de frecuencias se puede obtener una gran capacidad total, entregando un gran número de pequeñas celdas.

**Flexibilidad para responder a las demandas de tráfico:** Las HAPs son ideales para la asignación de recursos adaptables, flexibles, reutilización de frecuencias y variar el tamaño de las celdas.

Todo esto puede ser adaptado en tiempo real, incrementando la capacidad total, en comparación a un sistema terrestre.

**Bajo Retardo en la Propagación:** El retardo en las HAPs es insignificante, comparado con los satélites, siendo ésto una ventaja para la transmisión de datos, el tráfico en Internet, aplicaciones interactivas y compatibilidad con los protocolos existentes.

**Menor Infraestructura en Estaciones Base:** Una HAP puede proveer un gran número de celdas, limitado principalmente por las tecnologías de las antenas.

Las implicaciones económicas del reemplazo de un gran número de estaciones bases puede ser considerables.

### **A.3.8 Costos Estimados**

Un sistema HAP es mucho más económico que uno satelital, en términos de desarrollo y puesta en órbita. Una red HAP, puede ser más económica que una red terrestre con un gran número de estaciones base.

En la Tabla A.3.2, se puede apreciar las diferencias técnicas, económicas y estratégicas de los distintos sistemas existentes:

**Tabla A.3.2**

|                                        | Terrestrial<br>(e.g. B-FWA)            | HAP                  | LEO satellite<br>(e.g. Teledesic <sup>31</sup> ) | GEO satellite                   |
|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------|
| Station coverage<br>(typical diameter) | <1km                                   | up to 200km          | >500km                                           | up to global                    |
| Cell size (diameter)                   | 0.1–1km                                | 1–10km               | c. 50km                                          | 400km minimum                   |
| Total service area                     | spot service                           | national/regional    | global                                           | quasi-global                    |
| Maximum transmission<br>rate per user  | 155Mbit/s                              | 25–155Mbit/s         | <2Mbit/s up<br>64Mbit/s down                     | 155Mbit/s                       |
| System deployment                      | several base<br>stations before<br>use | flexible             | many satellites<br>before use                    | flexible, but long<br>lead time |
| Estimated cost of<br>infrastructure    | varies                                 | \$50million upwards? | c. \$9billion                                    | >\$200million                   |
| In-service date                        | 2000                                   | 2003–2008?           | 2005                                             | 1998                            |

**Tabla A.3.2 Comparación de Sistemas (Fuente: Proyecto Capanina)**

### A.3.9 Retos y Desafíos

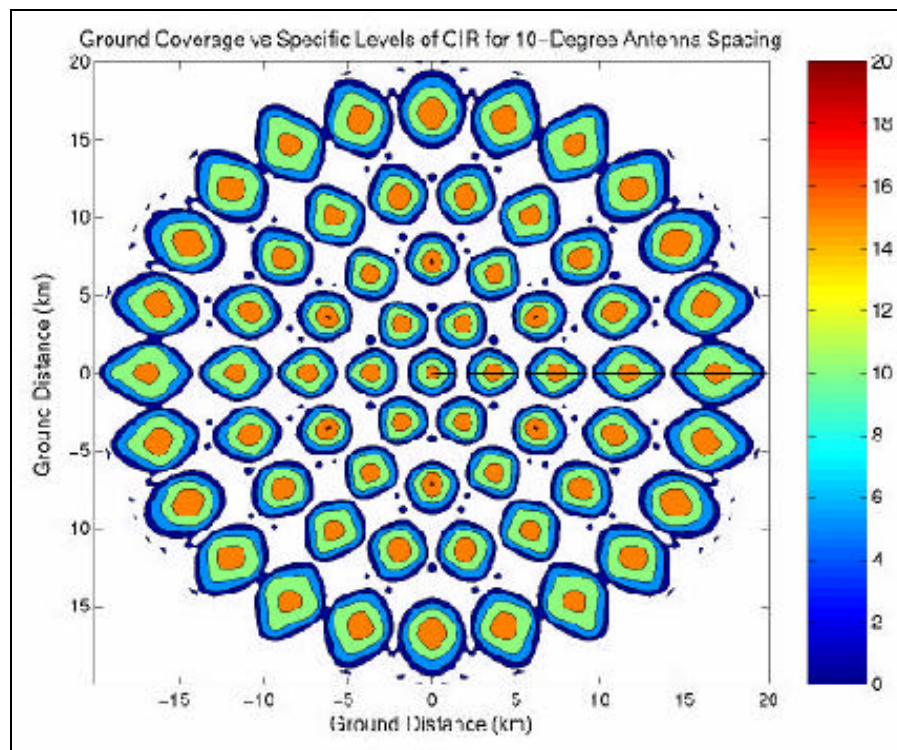
Las nuevas comunicaciones a través de HAPs o entrega de servicios tal como B-FWA poseen una serie de desafíos críticos para su desarrollo, presentando algunos retos y problemas potenciales que deberán ser solucionados para su futura utilización. Los principales desafíos a superar son los siguientes:

#### A.3.9.1 Niveles de Requerimientos del Sistema

Las redes HAPs para la distribución de servicios de banda ancha requieren un reestructuramiento del diseño básico de los servicios tipo celular, enfocándose en el desarrollo de un plan de reutilización de frecuencias de distintos trazados, los cuales estarán sujetos a:

- o Variaciones de ángulos
- o Cambios en la distancia del enlace,
- o Distintas frecuencias reutilizadas, tanto para usuarios como para los enlaces de backhaul.

En la Figura A.3.13, se aprecia el efecto de la reutilización a una distancia de 20 Km, pero ésta puede llegar a ser hasta 4 veces mayor.



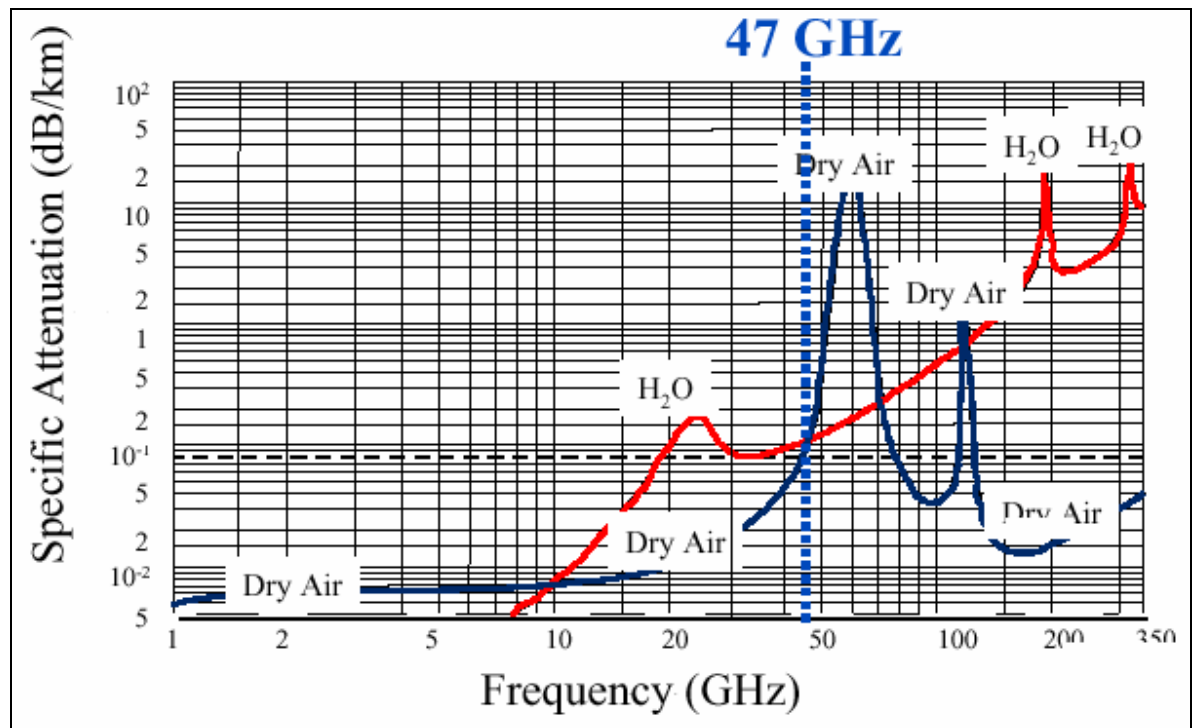
**Figura A.3.13 Nuevo patrón celular, las celdas más lejanas serán de mayor tamaño debido al ángulo respecto a la plataforma (Fuente: U. York).**

La arquitectura de las redes necesitará explotar las oportunidades que ofrece la conmutación dentro del HAPs, no siendo necesario realizar ésta en tierra y el uso de enlaces entre HAPs para aumentar la conectividad.

### A.3.9.2 Propagación y Diversidad

Algunos de los servicios ofrecidos por las HAPs han sido ubicados por la ITU en las bandas de las ondas milimétricas (> a 20 GHz). Sin embargo, la propagación a esas frecuencias, no se encuentra muy bien estudiada.

De acuerdo con la Figura A.3.14, la atenuación por lluvia es alta, por lo cual una de las metas principales es el desarrollo de tablas estadísticas para las atenuaciones por lluvia y scattering. Esto proveerá márgenes apropiados a ser considerados y así superar cualquier problema con el plan de reutilización de frecuencia desarrollado.



**Figura A.3.14 Atenuación según frecuencia, causa del aire y agua**  
(Fuente: University of York)

Un objetivo importante es la determinación de la técnica más apropiada para cada tipo de tráfico ofrecido (espacio, tiempo y frecuencia).

### A.3.9.3 Modulación y Codificación

Para optimizar la capacidad de la red será necesario escoger los esquemas de modulación y codificación más convenientes, para proveer los servicios de telecomunicaciones con un específico QoS y BER requerido, bajo las distintas condiciones del enlace.

Las técnicas adaptativas proporcionan un desempeño óptimo, utilizando esquemas de bajas tasas de datos, incluyendo poderosos códigos FEC (forward error correction) cuando la atenuación es severa y modulaciones multinivel con grandes tasas de datos cuando las condiciones son buenas.

#### **A.3.9.4 Asignación de Recurso y Protocolos de Red**

Los esquemas de asignación de canales y recursos serán necesarios para el desarrollo de las HAPs, los cuales son esencialmente distintos de los demás, terrestre o satelital. Estos esquemas deben ser adaptados al tráfico multimedia y deben tomar en cuenta la topología del sistema con la elección de los esquemas de modulación y codificación. El más apropiado medio de control de acceso (MAC) y protocolos de red serán elegidos como punto inicial. Para los servicios BWA con movilidad el IEEE está estudiando utilizar una versión modificada de los estándares IEEE 802.16/ETSI BRAN, y la integración entre las arquitecturas terrestres y satelitales requerirá una planificación cuidadosa.

#### **A.3.9.5 Antenas**

Las tecnologías de antenas serán críticas para la entrega de servicios BWA desde HAPs. Ya que un gran número de antenas serán puestas sobre la plataforma, existiendo un gran número de rayos de transmisión hacia la Tierra que podrían producir interferencias entre las distintas celdas, perjudicando la capacidad del sistema.

#### **A.3.9.6 Ubicación y Estabilidad de la Plataforma**

La habilidad de las HAPs de mantener una posición relativa, de cara a los vientos variables es un gran reto y afectará en forma crítica a la viabilidad de las comunicaciones.

Hoy en día se cree que la habilidad de ubicar la plataforma en una posición fija definida es de alrededor de un 99 % a un 99,9 %, lo que no es compatible con la provisión de los servicios tradicionales, donde se habla de “cuatro nueves”, es decir un 99,99 %.

La estabilidad es otro problema crítico. Inevitablemente la plataforma tenderá a rotar y salirse de su posición debido a la turbulencia existente en la estratósfera.

Considerando este aspecto, las grandes aeronaves presentan gran estabilidad. El apuntamiento de las antenas en las HAPs puede ser mantenido a través del uso de mecanismos estabilizadores disminuyendo así la capacidad de carga, o a través del uso de un manejo electrónico de los arreglos de antena.

Esta última técnica ofrece un potencial considerable pero también una demanda tecnológica, especialmente en las bandas de las ondas milimétricas que se utilizan en este tipo de plataformas.

#### **A.3.9.7 Handoff**

La mayoría de las Haps proponen el uso de múltiples transmisiones para cubrir un área determinada, optimizando el rendimiento a través de la reutilización de frecuencias. Aunque la arquitectura de una red BWA es similar a tener usuarios fijos, el Handoff puede ocurrir cuando el haz de la antena se mueva debido al movimiento de la plataforma, dependiente de las técnicas de estabilización.

Contrastando lo anterior, con los esquemas celulares móviles convencionales, donde el handoff es invariable debido al movimiento del usuario. Si fuese posible utilizar antenas fijas en las HAPs y acomodar el movimiento a simples procedimientos de Handoff, simplificaría bastante las cosas. Sin embargo, las limitaciones por jitter y delay para servicios multimedia futuros, pueden imponer reglas mucho más rígidas para los procedimientos de handoff que las existentes en los sistemas convencionales 2G y 3G.

#### **A.3.9.8 ¿Las Antenas en Tierra deben ser Móviles o Fijas?**

Las Haps pueden cambiar de posición, tanto lateral como verticalmente. El último, puede ser deliberado, con el fin de optimizar la altura para minimizar los vientos prevalecientes. Los resultados de estos movimientos en los cambios del ángulo de vista desde el terminal en tierra, puede ser utilizado para determinar si la antena en tierra deberá ser fija o móvil.

Si la variación angular es mayor que el ancho del haz de la antena, el cual es una función de la ganancia requerida para operar el enlace, entonces es necesario utilizar terminales móviles en tierra.

Cambios en la altura, pueden ser de mayor significación para las antenas en el perímetro del área de cobertura, si estos corresponden a antenas de alta ganancia y poseen una apertura de antena reducida.

Claramente el requerimiento de antenas móviles u orientables incrementará el costo de los terminales, pero podría llegar a ser necesario para mantener la alta capacidad del enlace.

#### **A.3.9.9 Requerimientos Energéticos**

Una importante distinción entre los distintos tipos de HAPs es el poder disponible para la carga. Típicamente una aeronave tendría energía en exceso con 20 KW disponibles para la carga, debido a la gran área superficial en las cuales se pueden instalar celdas solares.

En comparación con los aeroplanos propulsados, los aeroplanos solares pueden tener una cantidad significativamente menor de energía disponible

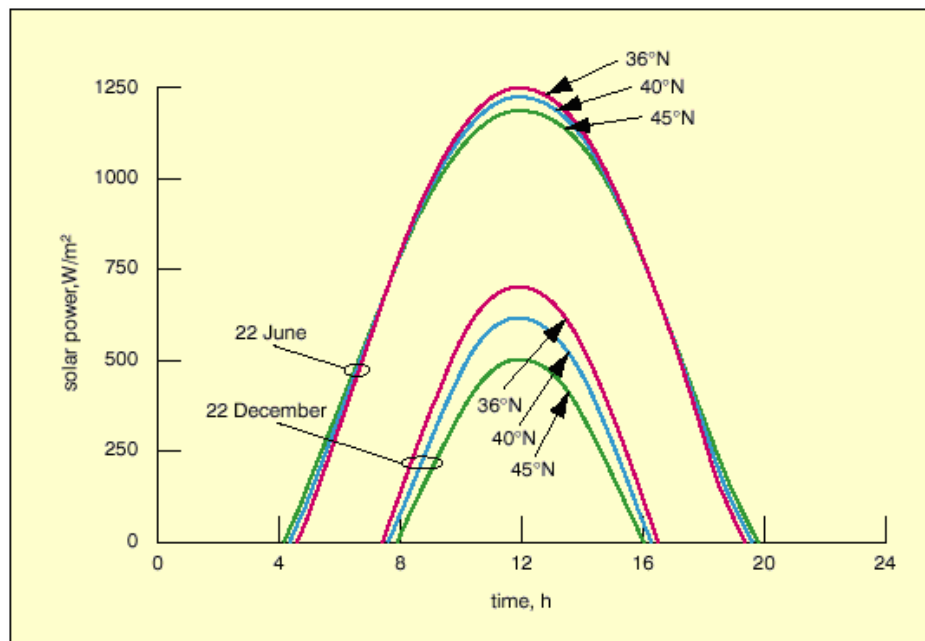
para la carga, esta limitación de energía es similar a la experimentada por los satélites y significa que la energía utilizada en enlace de bajada y, por lo tanto, la capacidad total debe ser reducida.

De hecho los aeroplanos propulsados con energía solar, tienen mucho en común con las comunicaciones satelitales, en términos de la energía disponible desde los paneles solares, la carga y espacio disponible en la plataforma.

La energía debe ser utilizada en forma eficiente, teniendo especial cuidado en los arreglos de antenas y esquemas de modulación y codificación.

Comparado con los satélites, una HAP requerirá una gran cantidad de energía para cargar sus baterías debido a que deberán operar largos periodos en la oscuridad durante la noche, el peor caso comienza con el acortamiento de los días.

En las altas latitudes, la variación del ángulo del sol respecto de los paneles solares entre verano e invierno y los cortos días de invierno causarán un efecto significativo como se aprecia en la Figura A.3.15.



**Figura A.3.15:** Se muestra la variación de energía por metro cuadrado como función de las estaciones, horas del día y latitud.  
(Fuente: University of York)

### A.3.10 Conclusiones HAPS



Es interesante tener la posibilidad de utilizar una plataforma a gran altura para la distribución de servicios de telecomunicaciones, ya que a medida que la demanda de estos servicios comience a aumentar en forma explosiva el espectro de frecuencias se irá completando, dejando disponibles sólo las bandas de frecuencias más altas. Si bien es cierto que en estas bandas se puede obtener un ancho de banda mayor, ello también conlleva una serie de limitantes debido a problemas de propagación.

La utilización de plataformas de gran altura surge como una alternativa de solución a los problemas de propagación de estaciones terrenas y como una alternativa más económica que la utilización de satélites.

La tecnología HAPS, una vez que se encuentre totalmente desarrollada y disponible para los operadores, significará un cambio rotundo en las nuevas redes de acceso a los abonados ya que con sólo un par de estos dispositivos se logrará dar cobertura a regiones completas, disminuyendo el costo de implementación y operación y por ende el costo para los usuarios finales.

Esta tecnología de HAPS, proveerá un mayor desarrollo de las telecomunicaciones a nivel mundial ya que permitirá aumentar la cobertura en áreas rurales, permitiendo el desarrollo de regiones aisladas y disminuyendo la brecha digital que existe en todos los países.

El mayor inconveniente de esta tecnología es que puede frenar el desarrollo de nuevos sistemas satelitales, ya que ésta los reemplaza en cierta medida a los sistemas satelitales, a una fracción de su costo.

HAPS es la unión de lo mejor de dos mundos, como es el terrestre y el satelital, con la ventaja de poseer un costo menor al de ambos sistemas y ofreciendo capacidades, coberturas y una flexibilidad de otro modo inalcanzable. Esta tecnología permitirá la entrada de nuevas empresas al mercado de las telecomunicaciones ya que los costos de despliegue, mantenimiento y operación son relativamente bajos con respecto al número de usuarios a los que ofrece cobertura haciendo de éste un mercado aún más competitivo, lo cual acarreará beneficios a los usuarios finales.

El Proyecto Capanina ha sido financiado por la Comisión Europea para emergencias, zonas de difícil acceso y eventos especiales, y en él participan centros de investigación de varios países europeos, entre los que destacan la Universidad de York (Reino Unido) y el Centro Suizo de Electrónica y Microtécnica (CSEM) de Neuchatel.

Cuenta además con la colaboración del Politécnico de Turín (Italia), el Centro de investigación Aeroespacial de Alemania, la Universidad de Tecnología y Economía de Budapest, la Universidad Politécnica de Cataluña (España), el

laboratorio de investigación de comunicaciones de Japón y de varios organismos privados.

Cabe señalar que aún faltan algunos años para que estos sistemas se encuentren totalmente operativos, ya que existen una serie de limitantes tecnológicas y físicas que deben ser superadas, aunque ya existen algunas soluciones posibles.

## A.4 Tecnología UWB (Ultra Wideband)

### Resumen

El origen de la tecnología Ultra Wideband (UWB) se remonta desde el tiempo de las investigaciones relacionadas con el electromagnetismo en el dominio del tiempo las que empezaron en 1962 para describir completamente el transiente de una cierta clase de redes de microondas mediante sus características de respuesta al impulso.

El concepto fue en efecto más simple, en vez de caracterizar un sistema lineal invariante en el tiempo (LTI) por medio de la convencional respuesta de frecuencia de rastreo (por ejemplo, medidas de amplitud y fase versus frecuencia), un sistema LTI podía alternativamente ser totalmente caracterizado por su respuesta a una excitación impulsiva. La así llamada *respuesta al impulso*  $h(t)$ . En particular, la salida  $y(t)$  de cada sistema para cualquier entrada arbitraria  $x(t)$  podía ser determinada por la convolucion integral, como se indica en la ecuación siguiente (ejemplo, Papoulis 1962):

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(u)x(t-u)du$$

Sin embargo, este estudio no fue realidad hasta la llegada del simple osciloscopio (Hewlett-Packard c.1962) y el desarrollo de técnicas para la generación de pulsos para subnanosegundos (banda base), para proporcionar aproximaciones a una excitación de impulsos, donde la respuesta al impulso de las redes de microondas podían ser observadas y medidas directamente.

Una vez que las técnicas de medidas del impulso fueron aplicadas al diseño de la banda ancha con elementos de antenas radiantes (Ross 1968), estas técnicas rápidamente llegaron a mostrar que los sistemas de comunicaciones y pulsos cortos de radar podían ser desarrollados con las mismas herramientas teóricas señaladas anteriormente.

La invención de un sensible receptor de pulsos cortos (Robbins 1972) reemplaza al osciloscopio de muestreo en el dominio del tiempo, además aceleró el desarrollo del sistema.

### A.4.1 Introduccion UWB

Ultra WideBand (UWB) es una revolucionaria tecnología inalámbrica para la transmisión de datos en forma digital, sobre un espectro ensanchado en bandas de frecuencias con muy baja potencia. Con esto se puede obtener

una alta tasa de transferencia para aplicaciones de redes inalámbricas de área local.

UWB no puede llevar solamente cantidades enormes de datos sobre una distancia corta en la energía muy baja, sino también tiene la capacidad de llevar señales a través de obstáculos que tienden a reflejar señales en anchos de banda más limitados y una energía más alta.

UWB, también es conocida como la tecnología de comunicaciones no sinusoidales, impulso de radar, radar de penetración en tierra, radio impulso, tecnología de pulso de banda base, entre otras designaciones. UWB permite que un sistema opere a través de un rango de bandas de frecuencias, mientras no interfiera con los sistemas de comunicaciones existentes. Esta restricción se debe a que usa potencias de transmisión muy bajas, pero que aún puede mantener una alta tasa de datos.

#### **A.4.2 ¿Qué es la tecnología Ultra Wideband?**

El término "ultra wideband" es relativamente nuevo para describir una tecnología la cual ha sido conocida desde 1960 como "portadora libre", "bandabase" o "tecnología de impulso". El concepto básico es desarrollar, transmitir y recibir una ráfaga de radiofrecuencia (RF) de extremadamente corta duración, típicamente desde unas pocas décimas de picosegundos (trillones de segundos) hasta unos pocos nanosegundos (billones de segundos) de duración.

Aquellas ráfagas representan solo unos pocos ciclos de una onda portadora de RF. El resultado de las formas de onda son de banda ancha, por lo que es difícil determinar la frecuencia central de RF, por esto es el término de "portadora libre".

Los métodos iniciales de generación de señal utilizada "bandabase" (i.e., no RF), fue la excitación rápida del pulso de subida de una antena de microondas de banda ancha para generar e irradiar la respuesta de impulso efectivo de la antena.

Algunos sistemas más modernos desarrollados por la compañía MSSl (Multispectral Solutions, Inc), no usan grandes excitaciones de impulso directo de una antena debido a la incapacidad de tener un adecuado control de emisiones y una aparente frecuencia central.

#### **A.4.3 ¿Cuándo fue inventada la UWB?**

Hay muchos que se claman el honor, pero, el Dr. Gerald F. Ross, actualmente Presidente de ANRO Engineering, Inc., fue el primero que demostró la factibilidad de usar señales UWB para aplicaciones de radar y comunicaciones entre 1960 e inicios de 1970. El Dr Ross fue reconocido por

la Academia Nacional de Ingeniería (USA) por su esfuerzo en los estudios sobre UWB y elegido miembro en 1995.

#### **A.4.4 Principio de Funcionamiento**

El concepto básico es desarrollar, transmitir y recibir una ráfaga de energía de radio frecuencia (RF) con una duración extremadamente corta, típicamente de unas pocas décimas de pico segundos (o trillones de segundos) hasta unos pocos nanosegundos (o billones de segundos) de duración. Aquellas ráfagas representan desde uno hasta sólo unos pocos ciclos de una onda portadora de RF. Las formas de onda resultante son extremadamente anchas, de tal forma que a veces es difícil determinar la frecuencia central de una RF, de allí su nombre de "portadora libre".

Inicialmente, los métodos de generación de señal utilizados para "banda base" (ejemplo, no RF), y la rápida subida del pulso de excitación de una antena de microondas de banda ancha para generar e irradiar la respuesta efectiva del impulso de la antena son características logradas.

Los sistemas UWB son utilizados para aplicaciones inalámbricas móviles de alta velocidad. Además, debido a sus formas de onda de duración muy corta, son implementados en ráfagas de paquete y en accesos con protocolo TDMA (Time Division Multiple Access) para comunicaciones multiusuario.

Los dispositivos UWB pueden ejecutar un gran número de funciones en telecomunicaciones, lo cual hace interesante sus aplicaciones en ámbitos gubernamentales y comerciales.

Estos sistemas, debido a que tienen un gran ancho de banda para transmitir la información, son capaces de ser usados en operaciones que requieran precisar tiempo y localización tal como en:

- Detección de objetos cercanos;
- Penetración de muros, follajes y tierra;
- Comunicaciones a altas tasas de velocidad (rangos de 100 Mbits/seg para 10 metros) o tasas de velocidad mas bajas (rangos de 100 bits/seg para 10 kilómetros);
- Mejoramientos en el comportamiento de los multicaminos de propagación de señales.

#### A.4.5 Características Técnicas

Las principales características técnicas del sistema UWB son las siguientes:

- Radio sin portadora: Transmisión de la forma de onda (Banda base).
- Formato más utilizado: Radio Impulsiva (pulsos ultra cortos  $< 1\text{ns}$ ).
- Penetrabilidad en paredes gracias a su contenido en bajas frecuencias.
- Ciclos de trabajo muy reducidos (típico  $< 1/10000$ ). Muy bajo consumo.
- Es una técnica spread spectrum (sujeta a códigos y uso CDMA).
- Nueva tecnología de antenas de banda muy ancha (espirales, fractales, etc).
- Gran factor de ganancia (típico  $> 1000$ ) Gran capacidad de usuarios.
- Sincronizadores complejos, pero conversores A/D simples.
- No interfiere en sistemas existentes. Coexiste con ellos.
- Relativamente inmune al multitrayecto (debido a los impulsos ultracortos).
- Competencia a la tecnología de corto alcance, como el Bluetooth.

Actualmente, existe un gran interés en UWB para su uso en comunicaciones. La característica especial del sistema es que tiene un gran ancho de banda, donde la banda entre **3 GHz y 10.6 GHz**, es la propuesta para ser utilizada en USA para los servicios de telecomunicaciones, como se indica en el apartado de Espectro de Frecuencias de este análisis.

Los sistemas son focalizados en comunicaciones de **corto alcance, con un gran ancho de banda y una muy baja densidad espectral**, de allí que minimiza el riesgo de interferencia con otros usuarios. El trabajo de estandarización para el sistema ha empezado recientemente en el IEEE 802.15.4, y ha resultado un gran número de medidas al modelar los canales, especialmente para medio ambientes diferentes a las oficinas, igual que en la Industria y público en general.

#### A.4.5.1 Diagrama de Bloques del Transceptor de Radio

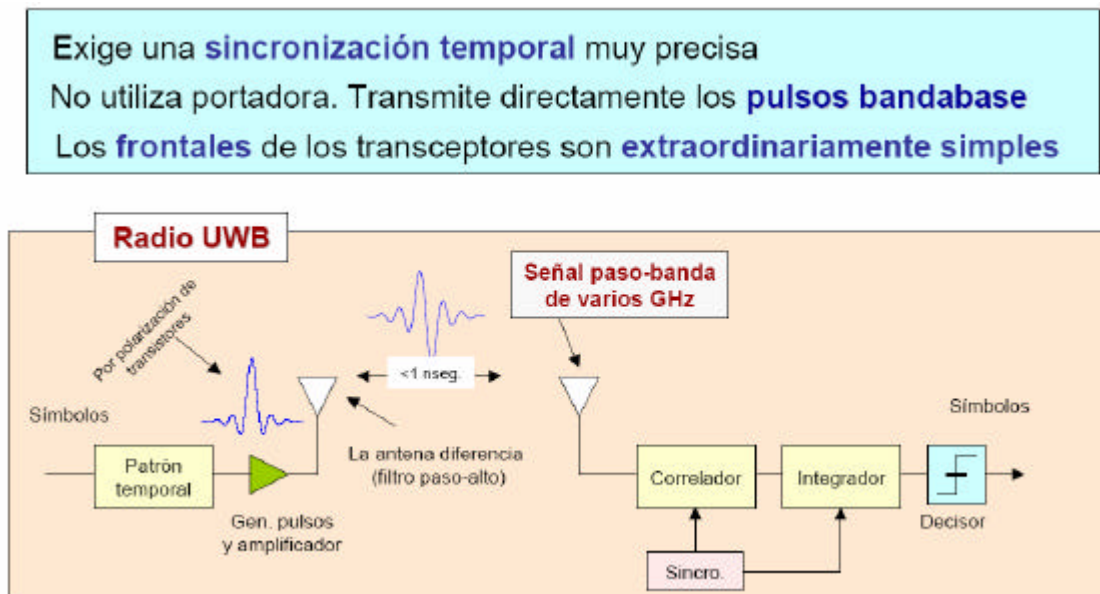


Figura A.4.1 Diagrama de bloques del sistema UWB  
(Fuente: UWB Forum)

#### A.4.5.2 Pulsos, tren de pulsos y modulación PPM

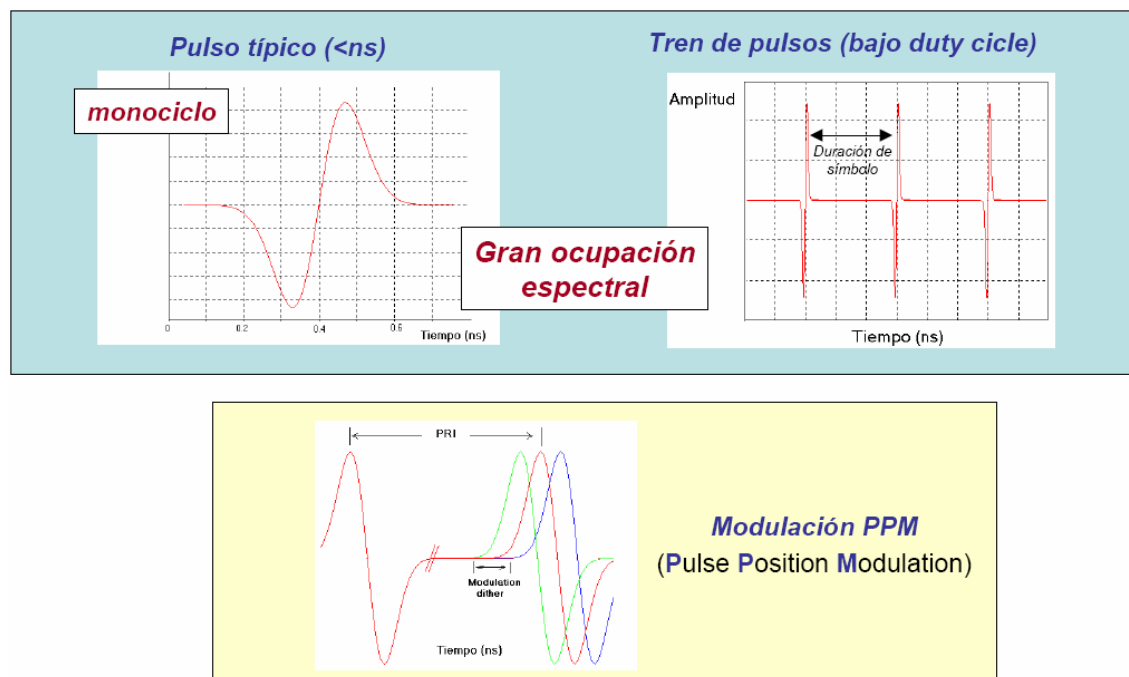


Figura A.4.2 Flujo de señales en UWB  
(Fuente: UWB Forum)

### A.4.5.3 Generación de la señal DS-UWB

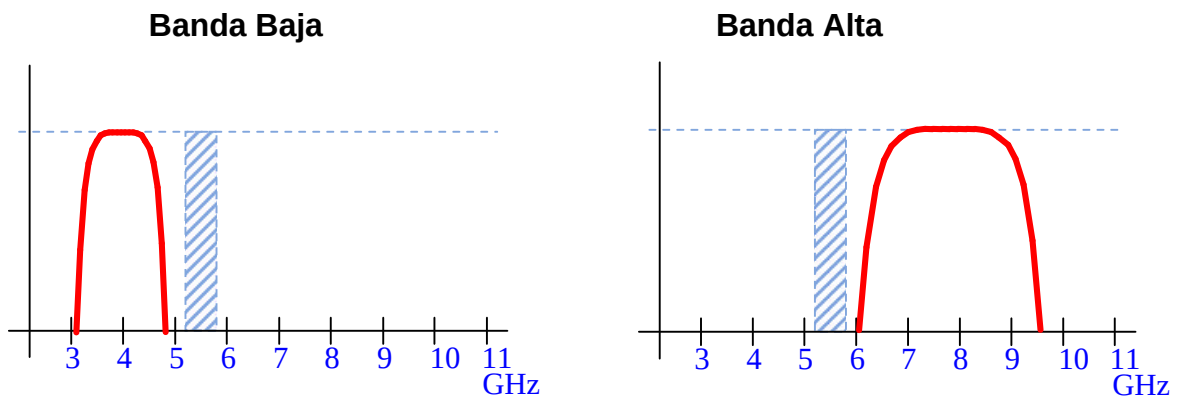
UWB con Secuencia Directa (DS-UWB) tiene un imbatible comportamiento en todos los modos y condiciones de multicaminos, usando la modulación BPSK con ensanchamiento de códigos de longitud y soporta muchas tasas altas de datos.

Al mismo tiempo, tiene una complejidad mucho menor y menor consumo de potencia. Esto es muy importante para las aplicaciones en servicios móviles y sus terminales, teniendo una baja complejidad digital, proporciona un buen comportamiento para largo alcance y altas tasas para corto alcance. Utiliza la Armonización e Interoperabilidad con otras formas de onda mediante el Modo Común de Señalización (CSM).

#### A.4.5.3.1 Bandas de Operación de DS-UWB

Cada pico red puede operar en una o dos bandas en USA, estas son:

- Banda Baja (bajo U-NII, desde **3.1 a 4.9 GHz**), y
- Banda Alta (opcional, sobre U-NII, desde **6.2 a 9.7 GHz**).



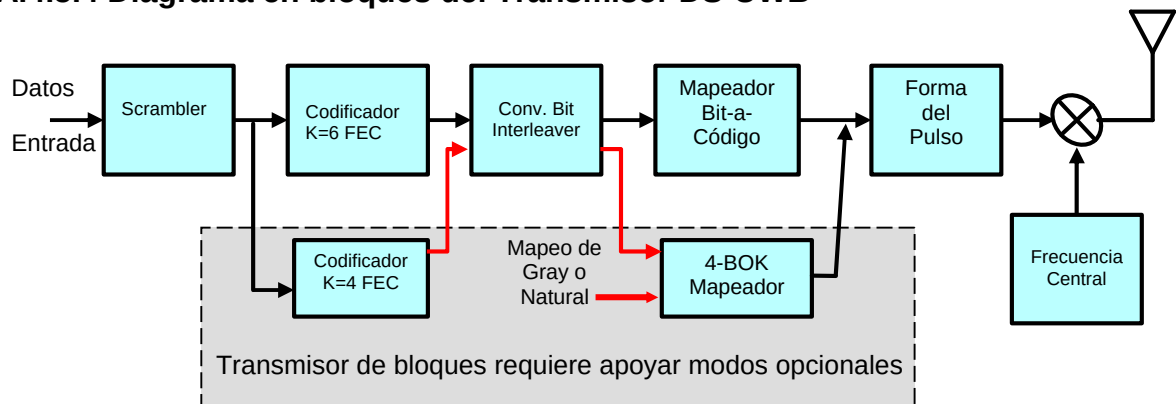
**Figura A.4.3 Bandas de Operación de DS-UWB**  
(Fuente: UWB Forum)

Esta técnica soporta multiples pico redes, con características tales como:

- Aplicación en redes clásicas de espectro ensanchado (spread spectrum).
- La adquisición usa códigos únicos de ensanchamiento de longitud 24.
- Usa compensación de tasas de Chips para minimizar la correlación cruzada.



#### A.4.5.4 Diagrama en bloques del Transmisor DS-UWB



**Figura A.4.4 Diagrama en bloques del Transmisor DS-UWB**  
(Fuente: UWB Forum)

De acuerdo con el diagrama de la Figura A.4.4, este sistema opera con códigos convolucionales y la restricción de longitud del código con  $k = 6$ .

El codificador con  $K=4$  puede ser usado para complejidades menores con altas tasas de datos o para soportar iteraciones de la decodificación en un mejoramiento de la performance del sistema.

La etapa "Convolutional bit interleaver" es una protección contra los errores de las ráfagas y los códigos de longitud variable proporcionan tasa de datos escalables usando BPSK, para soportar modos opcionales 4-BOK con una pequeña complejidad adicional.

##### A.4.5.4.1 Tasas de Datos Soportados por DS-UWB

Las tasas de datos son definidas en forma similar para las bandas bajas y bandas altas. En la Tabla A.4.1 se muestran diferentes tasas de datos entre 28 Mbps y 1320 Mbps, con sus respectivos alcances y tipo de FEC que utilizan.

**Tabla A.4.1**

| Tasa de Datos | Tasa del FEC  | Longitud del Código | Alcance (AWGN) |
|---------------|---------------|---------------------|----------------|
| 28 Mbps*      | $\frac{1}{2}$ | 24                  | 35 m           |
| 55 Mbps       | $\frac{1}{2}$ | 12                  | 27 m           |
| 110 Mbps*     | $\frac{1}{2}$ | 6                   | 22.2 m         |
| 220 Mbps*     | $\frac{1}{2}$ | 3                   | 16.2 m         |
| 500 Mbps      | $\frac{3}{4}$ | 2                   | 7.5 m          |
| 660 Mbps      | 1             | 2                   | 4.7 m          |
| 1000 Mbps     | $\frac{3}{4}$ | 1                   | 4.8 m          |
| 1320 Mbps     | 1             | 1                   | 3.3 m          |

**Tabla A.4.1 Comparación de tasas de datos y su alcance  
(Fuente: UWB Forum)**

#### **A.4.6 Aspectos Regulatorios**

En USA, la Federal Communications Commission (FCC) y la Administración de Información Nacional de Telecomunicaciones (NTIA) trabajó alrededor de 3 años y medio para dirigir todas las interferencias relacionadas con este tema, donde las reglas finales fueron editadas en Febrero del 2002 con el título **“New public safety applications and broadband internet access among uses envisioned by FCC authorization of ultra-wideband technology”**

(Para mayor información ver: [February 14, 2002](http://www.fcc.gov/Bureaus/Engineering_Technology/News_Releases/2002/nret0203.html), o [http://www.fcc.gov/Bureaus/Engineering\\_Technology/News\\_Releases/2002/nret0203.html](http://www.fcc.gov/Bureaus/Engineering_Technology/News_Releases/2002/nret0203.html).)

Cabe señalar que a la fecha, no existe una regulación detallada acerca de la tecnología UWB, lo cual será clarificado en el tema de regulación tecnológica en capítulos posteriores.

Por otra parte, la regulación de la FCC es muy restrictiva a la espera de ser revisada por otros organismos regulatorios internacionales, donde los principales puntos desarrollados hasta el momento sobre UWB han sido los siguientes:

- FCC desarrolló un robusto y extensivo documento acerca de las interferencias al sistema. NTIA participó mediante los procedimientos y estudios sobre GPS y otras operaciones sobre el espectro Gubernamental.

- Las reglas editadas por la FCC, fueron ratificadas por recientes chequeos de datos, alcanzando a tener una buena aproximación a la tecnología UWB, la cual protegerá a los existentes usuarios del espectro, permitiendo a los consumidores el beneficio de esta tecnología. Se estima que la tecnología UWB podría entregar trabajo, innovación, inversión y crecimiento económico.
- La NTIA y la FCC han concluido que UWB es una tecnología segura. En su Reporte Final y Orden, se indica la seguridad de las emisiones de UWB y la protección a los usuarios del espectro, incluyendo las bandas del PCS y del GPS.

(ver [www.fcc.gov/bureaus/engineering\\_technology/orders/2002/fcc02048.pdf](http://www.fcc.gov/bureaus/engineering_technology/orders/2002/fcc02048.pdf))

- Como parte de aquellos chequeos, la FCC y NTIA revisaron el método estándar extensivo DS-UWB (Direct Sequence-UWB), el que proporciona la base de las reglas del reporte del Febrero 14 del 2002, ver sitio [http://www.uwbforum.org/documents/uwb\\_forum\\_update.pdf](http://www.uwbforum.org/documents/uwb_forum_update.pdf).
- La directriz inicial de la FCC es asegurar **no interferencia**, particularmente para usuarios no licenciados. La FCC tiende a errar en el lado de la precaución al implementar este objetivo, y el actual Reporte y Orden refleja el difícil esfuerzo de un balance para asegurar una total protección de los usuarios existentes, habilitando la entrada al mercado de esta nueva tecnología.
- El delicado balance final de las reglas fueron un resultado de intensas negociaciones e ingeniería con la FCC y los usuarios Gubernamentales.
- Este balance de protección de los usuarios sirve ahora como un borrador para las reformas del espectro federal, particularmente en las áreas **NO Licenciadas**, no por el momento para USA, pero puede ser para otras partes del mundo tal como Europa y Japón, quienes están mirando muy de cerca lo que sucede en USA.

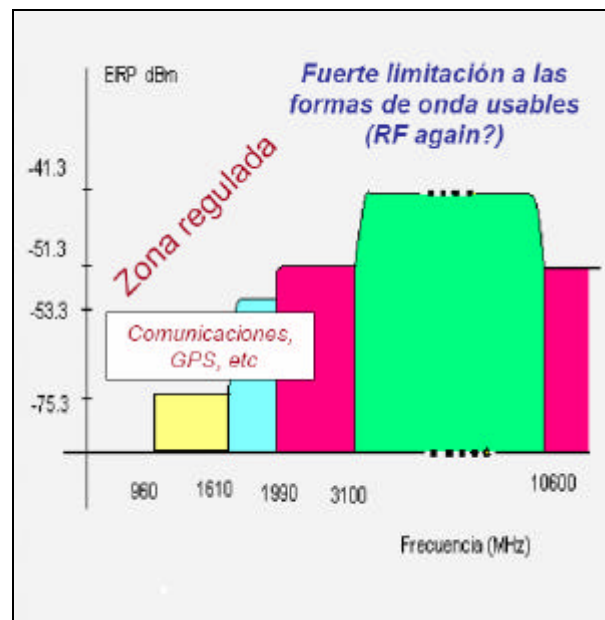
#### A.4.6.1 Espectro de Frecuencias

Después de las reuniones del Grupo de Trabajo 3a (TG3a) en Julio 2003, se establecieron 2 grupos primarios con proposiciones para el uso del espectro para UWB:

Uno de ellos fue **Texas Instruments** con una propuesta de multibanda basada en OFDM, la cual utiliza **528 MHz por canal** (tres mandatorios para los canales en la banda inferior y cuatro canales opcionales para la banda superior) siendo apoyados por la Coalición de Multibanda OFDM.

La segunda propuesta fue hecha por **Xtreme Spectrum - Motorola** con Espectro Ensanchado para Impulsos de Radio en banda dual, donde la banda superior está en la banda no licenciada entre **5.2 y 5.8 GHz**, y la banda inferior desde **3.1 GHz hasta la banda no licenciada 5.2 - 5.8 GHz**, las cuales explotan todo el espectro para UWB.

En la Figura A.4.5 se muestra la zona de operación del sistema UWB bajo estudio por la FCC, y en las Tablas A.4.2, y A.4.3 se muestra las características de las proposiciones de los grupos mencionados.



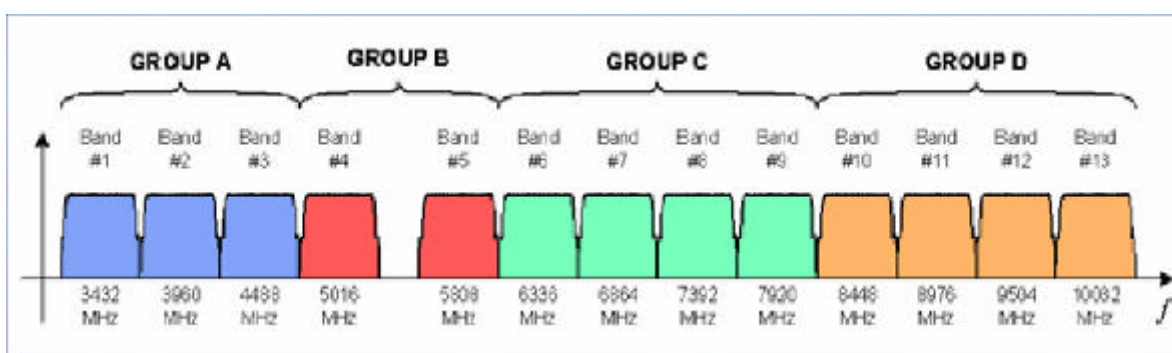
**Figura A.4.5 Esquema de uso del espectro en estudio en la FCC.**  
(Fuente: FCC)

En la Tabla A.4.2 se muestra la proposición de **Texas Instruments** para el caso de tener multibanda basada en OFDM (**M-OFDM**)

**Tabla A.4.2**

| Spectrum Allocation          |                                                                                                               |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| No. of bands                 | 3 (1st generation bands),<br>10 optional bands                                                                |
| Bandwidths                   | 528 MHz                                                                                                       |
| Frequency ranges             | Group A: 3.168-4.752 GHz<br>Group B: 4.752-6.072 GHz<br>Group C: 6.072-8.184 GHz<br>Group D: 8.184-10.296 GHz |
| Modulation scheme            | TFI-OFDM (with 128-point FFT),<br>QPSK                                                                        |
| Coexistence method           | Null band for WLAN (~5 GHz)                                                                                   |
| Multiple access method       | Time-frequency interleaving                                                                                   |
| No. of simultaneous piconets | 4                                                                                                             |
| Error correction codes       | Convolutional code                                                                                            |
| Code rates                   | 11/32 @ 110 Mbps, 5/8 @ 200 Mbps<br>3/4 @ 480 Mbps                                                            |
| Link margin                  | 5.3 dB @ 10 m @ 110 Mbps<br>10.0 dB @ 4 m @ 200 Mbps<br>11.5 dB @ 2 m @ 480 Mbps                              |
| Symbol period                | 312.5 ns OFDM symbol                                                                                          |
| Multipath mitigation method  | 1-tap (robust to 60.6 ns delay spread)                                                                        |

**Tabla A.4.2 Multibanda basada en OFDM. (Fuente: Texas Instruments)**



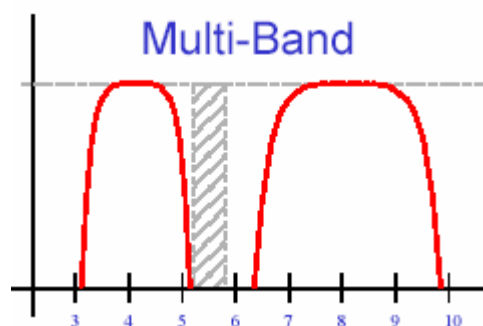
**Figura A.4.6 Espectro de Frecuencias para la Multibanda - OFDM propuesto en el estándar 802.15.3. (Fuente: Texas Instruments)**

En la Tabla A.4.3 se muestra la proposición de **Xtreme Spectrum - Motorola** con Espectro Ensanchado para Impulsos de Radio en banda dual, y en la Figura A.4.7 se muestra el esquema de la multibanda.

**Tabla A.4.3**

| Spectrum Allocation          |                                                                                 |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| No. of bands                 | 2                                                                               |
| Bandwidths                   | 1.368 GHz, 2.736 GHz                                                            |
| Frequency ranges             | 3.2 – 5.15 GHz<br>5.825 – 10.6 GHz                                              |
| Modulation scheme            | BPSK, QPSK, DS-SS                                                               |
| Coexistence method           | Null band for WLAN (~5 GHz)                                                     |
| Multiple access method       | Ternary CDMA                                                                    |
| No. of simultaneous piconets | 8                                                                               |
| Error correction codes       | Convolutional code,<br>Reed-Solomon code                                        |
| Code rates                   | 1/2 @ 110 Mbps<br>RS(255,223) @ 200 Mbps<br>RS(255,223) @ 480 Mbps              |
| Link margin                  | 6.7 dB @ 10 m @ 114 Mbps<br>11.9 dB @ 4 m @ 200 Mbps<br>1.7 dB @ 2 m @ 600 Mbps |
| Chip time                    | 731 ps (Low band),<br>365.5 ps (High band)                                      |
| Multipath mitigation method  | Decision feedback equalizer and RAKE                                            |

**Tabla A.4.3 Espectro Ensanchado para Impulsos de Radio en banda dual  
(Fuente: Xtreme Spectrum – Motorola)**



**Figura A.4.7 Sistema Multi Banda (3.1 a 5.15 GHz más 5.825 GHz a 10.6 GHz)  
(Fuente: Xtreme Spectrum – Motorola)**

#### A.4.6.2 Canalización o "múltiples pico redes" con UWB

Múltiples pico redes es el mecanismo usado para **compartir el canal** entre multiples redes independientes, permitiendo a aquellos sistemas operar alrededor del mismo espacio sin interferencia.

Nuevamente, hay varias maneras para implementar accesos múltiples. Junto a la tradicional Multiplexación por División de Frecuencia (FDM) o Multiplexación por División de Tiempo (TDM), se podría usar la Multiplexación por División de Código (CDM) o aún esquemas de Saltos de Frecuencia (FH).

DS-UWB usa una combinación de la División de Códigos, compensación de frecuencias de operación y FDM para permitir múltiples pico redes para aparecer como ruido blanco.

Esta aproximación permite compartir bandas comunes de frecuencias minimizando la potencial interferencia para otros sistemas.

#### A.4.6.3 Compartición del canal de RF en UWB

Varios sistemas modernos de UWB utilizan una combinación de Multiplexación por División de Frecuencia (FDM) y Múltiples Accesos por División de Tiempo (TDMA) para acomodar múltiples usuarios, así como también configuración de redes y administración de datos para una aplicación inalámbrica ad-hoc.

El objetivo del análisis de la Interferencia Electromagnética (EMI) fue investigar la susceptibilidad que los receptores de comunicaciones militares, navegación y radar fueran afectados por el EMI de diferentes dispositivos operando como UWB.

Los resultados de esta investigación entregaron la información necesaria para evaluar el potencial de los dispositivos UWB para coexistir con los actuales sistemas en operación sin causar problemas de Interferencia EMI, y ayudar a definir los parámetros del sistema UWB requeridos para la Compatibilidad Electromagnética (EMC).

Cada uno de los sistemas mencionados anteriormente, fueron probados por la compañía MSSI, usando banda ancha y canales con frecuencias ortogonales, en los cuales múltiples emisores UWB transmiten simultáneamente muy próximos entre ellos. Los resultados de las pruebas realizadas indican que aproximadamente en el 8% de los casos, el nivel de Interferencia Electromagnética (EMI) y el nivel de ruido blanco causado son similares en orden de magnitud, (ver [UWB parameters for EMC Coexistence with Legacy Systems. Final Report](#) de Junio 31 del 2003, o [UWB EMC](#)

[FNPRM072503.pdf](#), realizado por DARPA, Defense Advanced Research Projects Agency).

MSSI también incorporó FDM UWB para múltiples usuarios inalámbricos operando en medios severos de multicaminos.

#### **A.4.7 Ventajas y aplicabilidad de la UWB**

##### **A.4.7.1 Ventajas**

Dado que la formas de onda de la UWB son de corta duración, ellas tiene algunas propiedades únicas. Por ejemplo, en comunicaciones los pulsos UWB pueden ser usados para proporcionar comportamientos de muy altas tasas de datos en aplicaciones de redes multiservicios.

Para las aplicaciones de radar, los pulsos UWB pueden proporcionar resoluciones con rango muy bueno y capacidad de mediciones de posicionamiento y/o precisión de distancia. De hecho, ya han sido desarrolladas las arquitecturas multifuncionales entorno a las comunicaciones, radar y aplicaciones de posicionamiento.

Aquellas formas de onda de corta duración son realmente inmunes a los efectos de cancelación de los multicaminos como sucede en ambientes de edificios y de móviles. Las cancelaciones de multicaminos ocurren cuando una fuerte onda reflejada, tal como en una pared, cielo, vehículo, edificio, etc, llega parcialmente o totalmente fuera de fase con la señal que viene por un camino directo, causando una reducción a la respuesta de amplitud en el receptor.

Con pulsos muy cortos, se efectúa la transmisión antes que llegue la señal reflejada y así no ocurre la cancelación. Como una consecuencia, los sistemas UWB son particularmente aplicados para alta velocidad en inalámbricos móviles.

Debido a que el ancho de banda es inversamente relacionado a la duración del pulso, la extensión del espectro de aquellas ondas puede ser grande. Con un apropiado diseño de ingeniería, la densidad de energía resultante (por ejemplo, potencia transmitida por unidad de Hertz de ancho de banda) puede ser completamente baja.

Esta baja energía implica tener una baja probabilidad de detección (LPD) de la señal de RF. Una señal de LPD es de particular interés para las aplicaciones militares (ejemplo, para comunicaciones protegidas y radar); pero, una señal de LPD también produce una mínima interferencia para sistemas de proximidad y mínima RF de riesgo para la salud, significado importante para aplicaciones militares y comerciales.



Entre las ventajas importantes de la tecnología UWB está la de ser un sistema de baja complejidad y bajo costo.

Debido a la inherente simplicidad de RF en los diseños de UWB, estos sistemas son altamente adaptables en frecuencia, habilitándolos para ser posicionados en cualquier parte alrededor de su espectro de RF. Esta característica evita la interferencia entre servicios existentes, utilizando totalmente la disponibilidad espectral.

#### **A.4.7.2 Desventajas**

Como con cualquier tecnología, siempre hay aplicaciones que pueden ser mejor servidas por otras técnicas. Por ejemplo, para tasas de datos extremadamente altas (orden de Gigabits/segundo y mayores), considerando las aplicaciones punto a punto o punto a multipunto, hoy es difícil que los sistemas UWB compitan con los sistemas ópticos de alta capacidad o sistemas de comunicaciones ópticos inalámbricos.

Por supuesto que el alto costo asociado a las instalaciones de fibra óptica y la inhabilidad de una señal óptica inalámbrica para penetrar una pared limita dramáticamente la aplicabilidad de los sistemas ópticos al interior de las casas o edificios. Además, los sistemas ópticos inalámbricos tienen requerimientos extremadamente precisos para usos en medios móviles.

UWB es una tecnología inalámbrica de RF, por lo que está sujeta a las leyes de la física. Por lo tanto, existen negociaciones en la razón señal a ruido (S/N) versus ancho de banda, alcance versus niveles de potencia, etc.

#### **A.4.8 Facilidades y Características de UWB**

Entre las facilidades y características más importantes de la tecnología UWB, podemos considerar:

- o Reutilización del espectro (coexistencia con otros sistemas).
- o Admite despliegue microcelular sin coordinación.
- o Baja densidad de potencia radiada (menores efectos biológicos).
- o Relativa inmunidad al multitrayecto en interiores (**indoor**).
- o Admite un número elevado de usuarios (cargas de hasta un 50%).
- o De bajo consumo y dimensiones (implementación monolítica).
- o Gran granularidad (desde pocos Kbps a Mbps).

- o Con potencial intrínseco para la radiolocalización centimétrica.

#### **A.4.8.1 Aplicabilidad**

- o Redes móviles autoconfigurables y ad-hoc.
- o Etiquetas electrónicas desechables (control de stocks).
- o Dispositivos para localización centimétrica (sensores de proximidad).
- o Guías automáticas de museos (con PDA localizables por la red).
- o Alternativa al Bluetooth para bucles cortos.
- o Nuevos juguetes, sensores inteligentes, etc.
- o Aplicaciones Militares.
  - Nodos de comunicaciones.
  - Sensores.
  - Información paquetizada para comunicaciones satelitales.
- o Aplicaciones comerciales.
  - Sistemas de intercomunicación inalámbrica.
  - Inalámbricos PAN/LAN.
- o Distribución de Voz, Datos y videos en las casas.

En forma esquemática, en la Figura A.4.8, se muestran las aplicaciones más importantes del UWB según la compañía MMSI de USA:

# UWB Wireless *ad hoc* Networks

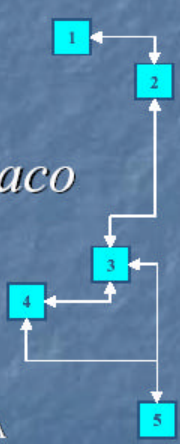


*Draco*



Multiband FDM/TDMA  
UWB Transmitter

- Multi-user mobile *ad hoc* networks
- UWB FDM/TDMA Architecture
- Characteristics
  - 1-2 km (node-to-node)
  - 128 kb/s to 1.544 Mb/s (T1)
- Applications
  - Military
    - Communications nodes
    - Unattended communications relays
    - Originating sensors (e.g., video, seismic, acoustic, etc.)
    - Reachback packet nodes (satellite)
  - Commercial
    - Wireless intercom systems
    - Wireless PAN/LAN
  - Video/data/voice distribution (in-home)
- DARPA NETEX Initiative



- **Figura A.4.8 Características de UWB y aplicaciones comerciales y militares relevantes.** (Fuente: <http://www.multispectral.com>)

## A.4.9 UWB Forum

El Forum UWB sirve como un recurso para la industria fabricante de equipos para establecer los beneficios y aplicaciones de DS-UWB; la cual es la única solución posicionada UWB para alcanzar el mercado en el 2004.

Las empresas miembro de este Forum se detallan en las Tablas A.4.4 y A.4.5 siguientes:

**Tabla A.4.4**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#"><u>AboCom Systems, Inc.</u></a></li> <li>• <a href="#"><u>Adaptive Labs, Inc.</u></a></li> <li>• <a href="#"><u>Æther Wire &amp; Location, Inc.</u></a></li> <li>• <a href="#"><u>Akira</u></a></li> <li>• <a href="#"><u>Allion Computer, Inc.</u></a></li> <li>• <a href="#"><u>Anna University</u></a></li> <li>• <a href="#"><u>Apparent Technologies, Inc.</u></a></li> <li>• <a href="#"><u>Artimi Ltd</u></a></li> <li>• <a href="#"><u>Bansonic</u></a></li> <li>• <a href="#"><u>Beijing University of Posts &amp; Telecom</u></a></li> <li>• <a href="#"><u>CWINS, WPI</u></a></li> <li>• <a href="#"><u>Computer Access Technology Corporation</u></a></li> <li>• <a href="#"><u>CoWare, Inc.</u></a></li> <li>• <a href="#"><u>decaWave Ltd.</u></a></li> <li>• <a href="#"><u>DSP enabled Communications</u></a></li> <li>• <a href="#"><u>Eaton Corporation</u></a></li> <li>• <a href="#"><u>Electronic Technology Systems</u></a></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#"><u>Korea Electronics Technology Institute</u></a></li> <li>• <a href="#"><u>MeshNetworks, Inc.</u></a></li> <li>• <a href="#"><u>Metrowerks</u></a></li> <li>• <a href="#"><u>Micro-Star International Co., Ltd.</u></a></li> <li>• <a href="#"><u>Millennial Net, Inc.</u></a></li> <li>• <a href="#"><u>Mobile Communication Research</u></a></li> <li>• <a href="#"><u>Motorola, Inc.</u></a></li> <li>• <a href="#"><u>Multirate Systems</u></a></li> <li>• <a href="#"><u>Netac Technology Co., Ltd.</u></a></li> <li>• <a href="#"><u>NiCT</u></a></li> <li>• <a href="#"><u>Occipol</u></a></li> <li>• <a href="#"><u>Orangeware Corporation</u></a></li> <li>• <a href="#"><u>PROBE Science, Inc.</u></a></li> <li>• <a href="#"><u>Profilo Telr@</u></a></li> <li>• <a href="#"><u>Pulse~LINK, Inc.</u></a></li> <li>• <a href="#"><u>RF Micro Devices, Inc.</u></a></li> <li>• <a href="#"><u>Raritan Computer, Inc.</u></a></li> </ul> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Tabla A.4.4 Miembros del Forum UWB**

(Fuente: UWB Forum)

**Tabla A.4.5**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">Emerging Technologies Limited</a></li> <li>• <a href="#">Faraday Technology Corporation</a></li> <li>• <a href="#">Freescale Semiconductor, Inc.</a></li> <li>• <a href="#">Furaxa, Inc.</a></li> <li>• <a href="#">Gemtek Technology Co., Ltd.</a></li> <li>• <a href="#">Genius Institute of Technology</a></li> <li>• <a href="#">Global Sun Technology</a></li> <li>• <a href="#">GTN S.p.A.</a></li> <li>• <a href="#">Gradiente Eletrônica S/A</a></li> <li>• <a href="#">Haier Group</a></li> <li>• <a href="#">Hetrogenous, Inc.</a></li> <li>• <a href="#">Ikegami lab, Meiji University</a></li> <li>• <a href="#">innov8rs™, LLC</a></li> <li>• <a href="#">Intermec Technologies Corporation</a></li> <li>• <a href="#">Intrinsix Corp</a></li> <li>• <a href="#">Kohnolab in Yokohama National University</a></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">Remotek Corporation</a></li> <li>• <a href="#">RoyalDigital Inc.</a></li> <li>• <a href="#">Shanghai University</a></li> <li>• <a href="#">Sipex Corporation</a></li> <li>• <a href="#">Tallika Corporation</a></li> <li>• <a href="#">TimeDerivative, Inc.</a></li> <li>• <a href="#">Toyocom U.S.A., Inc.</a></li> <li>• <a href="#">TÜV Rheinland of North America, Inc.</a></li> <li>• <a href="#">Universal Scientific Industrial</a></li> <li>• <a href="#">University of Science and Technology of China</a></li> <li>• <a href="#">University of Wollongong</a></li> <li>• <a href="#">Uraxs Communications, Inc.</a></li> <li>• <a href="#">Vabric, Inc.</a></li> <li>• <a href="#">Verisity Ltd.</a></li> <li>• <a href="#">ViD Research, Inc.</a></li> <li>• <a href="#">Wireless Dynamics, Inc.</a></li> <li>• <a href="#">Wong's Electronics Co., Ltd.</a></li> </ul> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Tabla A.4.5 Miembros del Forum UWB**  
(Fuente: UWB Forum)

#### **A.4.10 Estándares Presentes en la Tecnología UWB**

El Grupo de trabajo TG3a del IEEE (The Institute of Electrical and Electronic Engineers) ha estado trabajando sobre el estándar 802.15 para Wireless Personal Area Networks (**WPANs**) "*High Rate Alternative Physical Layer (PHY) Task Group*", para definir un proyecto que proporcione un mejoramiento a la alta velocidad de la capa física del 802.15.3, para aplicaciones que involucran multimedia e imágenes.

La tecnología UWB ha sido la tecnología elegida para aquellas aplicaciones.

#### **A.4.10.1 Estado actual de UWB en la Federal Communications Commission**

Una consulta de la FCC (Notice of Inquiry, NOI) para la tecnología Ultra Wideband fue lanzada en Agosto 1998 para "investigar la posibilidad de permitir la operación del sistema de radio Ultra Wideband (UWB) sobre una base **NO Licenciada** bajo la Parte 15 de sus reglas."

En Junio 14 de 2000 (*Federal Register* Volume 65, Number 115), la FCC editó una noticia para hacer una proposición de reglas (NPRM) de acuerdo con el título "*In the Matter of Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems*".  
(ver, <http://www.multispectral.com/UWBFAQ.html#UWBFAQ7>)

#### **A.4.11 Costos**

Con respecto a los costos que los fabricantes están manejando en este segmento tecnológico, no ha sido posible obtener valores referenciales.

Sólo se está especulando que esta tecnología es de bajo costo respecto a los sistemas tradicionales que participan en el mismo segmento comercial.

#### **A.4.12 Conclusiones UWB**

Para entregar las condiciones para una casa no cableada, se observa una interesante aplicación para ofrecer servicios a los hogares, con una distribución inalámbrica de los programas de TV, películas y juegos con intensivos archivos de datos del orden de mega bits por segundo ó  $10^6$  bits por segundo.

Por otro lado, también se necesita estar seguro que las transferencias de información no interferirán con otros sistemas inalámbricos o serán interferidos por UWB. Esta característica la proporciona UWB, además de requerir una baja potencia de transmisión.

Los usuarios probablemente necesiten estas condiciones debido a que mientras se comenta acerca del enrutamiento del video y otras aplicaciones de alto ancho de banda alrededor de la casa, lamentablemente los cables y alambres no han sido capaces de lograr estas facilidades porque las tecnologías actuales, tal como WLAN aún no son tan rápidas.

UWB, es una de las más promisorias tecnologías de radio en la actualidad. Contrariamente a los sistemas convencionales de radio, que operan alrededor de un ancho de banda relativamente angosto, UWB opera a través de un

amplio rango del espectro de frecuencias transmitiendo una serie de pulsos extremadamente angostos (10 – 1000 pulsos por segundos).

Los estudios realizados por el grupo DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency), definió esta tecnología como un sistema donde el ancho de banda ocupado es mayor que el 25% de la frecuencia central.

UWB no debe ser confundido con la tecnología de espectro ensanchado, la que es usada por otros estándares tal como el 802.11b.

El 802.15.3 es el estándar del IEEE para tasas de datos de alta velocidad usado en WPAN el cual es diseñado para proveer Calidad de Servicio (QoS) para distribución de tiempo real del contenido de multimedia, tal como el video y la música. Este es un paquete ideal para una red inalámbrica multimedial para los hogares.

El estándar original usa una portadora "tradicional" basada en una radio a 2.4 GHz en la capa física (PHY). Un estándar más avanzado, 802.15.3a, está aún en etapas formativas. Esta definirá una alternative PHY, donde los candidatos actuales propuestos están basados en UWB, el cual proveerá hasta 110 Mbps a una distancia de 10 metros y 480 Mbps a 2 metros.

Esta tecnología permitirá aplicaciones que requieran flujos para video de alta definición entre los servidores mediales y las pantallas planas de los monitores de Alta Definición y una extremadamente rápida transferencia de archivos entre los servidores de medios y los dispositivos portátiles de medios.

Por lo tanto, las ventajas primarias de UWB son altas tasas de datos, bajo costo, y baja potencia. También provee menos interferencia que las radios de banda angosta, produciendo una baja probabilidad de detección y excelente inmunidad al efecto del multicamino en la propagación.

Cuando es combinado con el estándar PAN 802.15.3, UWB proveerá una interesante red inalámbrica multimedial para el hogar. Esto tendrá la habilidad de soportar múltiples dispositivos y múltiples pico redes independientes, donde ninguna red vecina interferirá con otra red UWB.

## **B. Análisis Reglamentario y Normativo**

### **Resumen**

El objetivo de ésta parte Reglamentaria del presente informe, se refiere al desarrollo y cumplimiento de lo dispuesto en los Puntos 2 y 3 de la Cláusula Segunda del contrato correspondiente al Estudio de Nuevas Tecnologías (**WiMax, FSO, HAPS y UWB**), solicitado por la Subsecretaría de Telecomunicaciones, los cuales se refieren a:

Punto 2: “Elaborar un informe que contenga un análisis de la situación actual y futuro desarrollo de las tecnologías a nivel internacional, adjuntando documentación de tipo reglamentario y normativo vigente sobre la materia en otros países.”

Punto 3: “Elaborar una propuesta fundamentada respecto del tipo de servicio (limitado, público o intermedio), con que se podrían introducir estas tecnologías en nuestro país. Asimismo, deberá efectuar un análisis respecto de la oportunidad de regular sobre la materia”

Con relación al Punto 2, la situación regulatoria actual y futura internacional relacionada con las tecnologías **WiMax, FSO, HAPS y UWB**, aún se observa en un constante desarrollo y trabajo por los cuerpos estandarizadores, con el fin de permitir la utilización y comercialización de estas soluciones de Nuevas Tecnologías, no existiendo regulaciones ni recomendaciones internacionales claras que permitan decidir la mejor alternativa para impulsar alguna de estas iniciativas.

Sin embargo, la aplicación más cercana a la realidad chilena con necesidades regulatorias a materializar en el breve plazo, es la orientada a la utilización de **WiMax**.

Con respecto a **FSO**, en el estudio realizado con información tanto de fabricantes de equipos como de organismos reguladores a nivel mundial, no se observa necesidades regulatorias, exepcto en lo relativo a la instalación operación y explotación de los equipos de telecomunicaciones. Las tecnologías **HAPS y UWB**, aún están en proceso de optimización de su performance o comportamiento, por lo que es necesario estar atento y realizar el seguimiento de las recomendaciones respectivas provenientes particularmente de la UIT.

Con relación al Punto 3 y considerando que para WiMax no existen propuestas técnicas que permitan compartición de frecuencias, se sugiere la asignación de banda por Concurso Público para su uso como un **Servicio**



**Público de Telecomunicaciones o Servicio Limitado**, siendo necesario preparar la normativa correspondiente tan pronto como sea posible. Para el caso **FSO**, se recomienda que esta tecnología **quede exenta** de alguna regulación en cuanto al uso del espectro. En cuanto a la utilización de estos equipos y considerando la Normativa vigente, se autorizarán las instalaciones de acuerdo a lo solicitado por cada peticionario.

Para abordar **HAPS** cuando sea necesario, se sugiere definirla como un **Servicio Público** o también **Intermedio** de Telecomunicaciones, y finalmente la aplicación de **UWB**, se sugiere dejarla libre para aplicaciones domésticas, y como un **Servicio Limitado**, para aplicaciones de telecomunicaciones.

### **B.1 Situación Actual y Futura de las Tecnologías WiMax, FSO, HAPS y UWB**

En ésta sección se aportan los últimos antecedentes disponibles en las diferentes organizaciones mundiales de telecomunicaciones y en algunas Administraciones de interés, referente a la atribución y asignación de bandas de frecuencia para la operación y uso de las tecnologías que forman parte de este estudio.

En general se ha considerado que las Resoluciones y Recomendaciones de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones o ITU por sus siglas en inglés), constituyen la última palabra como versión autorizada acerca de estos temas.

Sin embargo, se ha considerado también como muy importantes, las recomendaciones y regulaciones de la FCC (Federal Communications Commission) para el mercado de los Estados Unidos de Norteamérica. Además, se ha tenido en cuenta recomendaciones y regulaciones de las organizaciones europeas de telecomunicaciones y Administraciones como la OFCOM (Office of Communications UK) y la ACA (Australian Communications Authority) entre otras.

Como postura general, en todas las Administraciones se observa una etapa de pruebas tecnológicas. En especial, cuando se habla de bandas de frecuencias compartidas.

En Singapur por ejemplo, se ha llamado a participar en un Proyecto Piloto Tecnológico que permita probar las diferentes alternativas de Servicios Inalámbricos de Banda Ancha.

Sin embargo, por regla general, en todos los países se mantienen las Recomendaciones que la ITU ha emitido hasta el momento, muchas de ellas aún no definitivas.

## **B.1.1 WiMax**

### **B.1.1.1 Situación Internacional**

La tecnología WiMax está en una etapa de mucha expectativa y búsqueda de su mejor posicionamiento tanto en el espectro de frecuencias como en su categoría de servicios.

Es así como en los últimos meses han surgido dos nuevos estándares que deben tenerse en cuenta a la hora de definir las condiciones regulatorias de esta tecnología, ver referencia [\[2.\]](#)

La primera de estas normas en estudio es la **802.16REVd** que podría también ser identificada como una norma para “Servicio Inalámbrico Fijo”.

La segunda es la **802.16e** definida en el contexto de un “Servicio Inalámbrico Semi-Móvil”.

Teniendo presente estos estándares y su evolución en el tiempo, se debe observar además que está en análisis la norma relacionada 802.20 que es directamente una norma para “Servicio Inalámbrico Móvil” con similar tecnología que Wimax.

Por otra parte, el Presidente de WiMax Task Group del WiMax Forum ha informado que la finalización de los estándares sólo será posible para finales del 2004 y, por lo tanto, no puede haber certificación de tecnologías WiMax hasta esa fecha o posterior a ella.

Con esto elementos y por las Recomendaciones, aun no definitivas, de la ITU, parece muy probable que la asignación de frecuencias para WiMax estará ciertamente entre **2 y 11 GHz**.

En lo que persisten ciertas dudas es en la asignación de sub-bandas específicas, lo que debe estar en coordinación con la actual ocupación de bandas en cada Región ITU.

Las potenciales sub-bandas que se manejan hasta ahora son: **2,5 – 3,5 - 5 GHz**.

Existe también la posibilidad en Estados Unidos, que la asignación de bandas de frecuencias sea una combinación de bandas licenciadas y no licenciadas.

Una consideración importante desde el punto de vista regulatorio de WiMax es que para obtener una cobertura deseada nacional, la infraestructura debería ser provista por un operador de telecomunicaciones.

Lo anterior nos lleva a pensar en formatos de autorización de banda a pedido, necesariamente en la modalidad de Concesión de Servicios como se indica en la propuesta del apartado **C: [Propuesta de Servicios](#)**.

### **B.1.1.2 Documentación WiMax**

A continuación, se adjuntan en Anexo y como link de Internet, los siguientes documentos relativos a la definición de bandas de frecuencias para la operación de las tecnologías WiMax:

Anexo 1. [New Wireless Band Plays For Bigger Broadband](#), 10 June 2004

Anexo 2. [Comentarios Presidente del TWG WiMax - Forum WiMax](#).

Anexo 3. [WiMAX\\_RegulatoryWorkingGroupAnnouncement\\_FINAL\\_05\\_28\\_04.pdf](#)

Anexo 4. [IEEE 802.16 and WiMAX \(INTEL\).pdf](#).

Anexo 5. Consultation Paper: Deployment of Wireless Broadband Technologies in Singapur: [WBA\\_Public\\_Consultation\\_020404\\_Singapur.pdf](#)

Anexo 6. [WiMAX - Members\\_Regulatory\\_Final.pdf](#)

Anexo 7. [WiMAX\\_Forum\\_Regulatory\\_Whitepaper\\_v06162004.pdf](#)

Anexo 8. [WiMAX - WCA\\_Carrier\\_Regulatory\\_AWG\\_Final.pdf](#)

### **B.1.2. FSO**

#### **B.1.2.1 Situación Internacional**

Estos sistemas están disponibles comercialmente para aplicaciones tales como en transmisión de datos entre computadores (interconexión de redes LANs), video, voz sobre IP, datos multiplexados, o ATM.

Los equipos con tecnologías FSO son usados para conexiones temporales tales como convenciones, eventos deportivos, campus universitarios o en operaciones militares.

Los sistemas de comunicaciones FSO operan solamente bajo condiciones de línea de vista entre las unidades a enlazar, eliminando la necesidad de asegurar los derechos de paso, instalaciones de cables soterrados y otras necesidades. Pueden ser rápidamente desplegados dado que son pequeños. Además, no necesitan estudios de interferencia de radio, por tratarse de enlaces de tipo láser operando en frecuencias del espectro infrarrojo. Por esta razón, los cuerpos estandarizadores de USA, Europa y el Asia, no han establecido restricciones ni estudios de interferencia para la utilización de esta tecnología. Por lo tanto la regulación que se debe tener en cuenta para sistemas FSO es la que dice relación con la instalación física, operación y explotación de los equipos de acuerdo a los tipos de Servicios definidos por la legislación chilena.

### **B.1.2.2 Documentación FSO**

Considerando lo dicho en el punto B.1.2.1 anterior, no ha sido posible adjuntar alguna documentación regulatoria relativa al uso de espectro, sin embargo para mayor claridad de esta tecnología, se indican las siguientes direcciones de Internet o archivos, para su profundización y seguimiento.

Anexo.9. [www.ofcom.ch/imperia/md/content/english/funk/forschungundentwicklung/studien/FreeSpaceLaser.pdf](http://www.ofcom.ch/imperia/md/content/english/funk/forschungundentwicklung/studien/FreeSpaceLaser.pdf) .

Anexo 10. <http://www.free-space-optics.org/>

### **B.1.3 HAPS**

#### **B.1.3.1 Situación Internacional**

Los sistemas de comunicaciones HAPS han enfrentado variados problemas para su implementación. Muchos de ellos complejos, lo que ha producido una suerte de baja en el interés para su desarrollo por parte de algunos de los fabricantes.

Es por ello que tanto en las organizaciones internacionales como en las Administraciones la intensidad del debate, para la asignación de bandas de frecuencias que permitan la operación de HAPS ha estado en segundo plano con respecto a las discusiones relativas a Ultra Wide Band o WiMax. Aún así, la WRC-97 designó en la Resolución 122, ver referencia [9], un par de bandas de frecuencias de 300 MHz para HAPS en los 47 GHz. Esta definición ha sido acogida mundialmente y se dispone para el Servicio Fijo con HAPS como downlink la banda de 47,2 – 47,5 GHz y como uplink la banda de 47,9 – 48,2 GHz.

Debido a problemas de atenuación excesiva en algunas zonas de la Región 3 (Asia) producto de la lluvia, la WRC-2000 se propuso estudiar una banda adicional para aplicaciones de banda ancha fijas con HAPS entre 18 y 32 GHz, focalizado particularmente pero no exclusivo, en las bandas de 27,5 - 28,35 GHz y 31,0 – 31,3 GHz. En la WRC-2003 el número de países que había adoptado esta banda se incrementó desde los 12 países iniciales a más de 50. La razón de ello fue básicamente la realización de estudios técnicos coordinados por la ITU en el sentido de confirmar la factibilidad de la compartición de estas bandas con sistemas satelitales y terrestres sin provocar interferencias.

Con la conclusión de la WRC-2003 la atribución de bandas de frecuencias de la ITU para HAPS ha quedado de la siguiente forma:

#### **B.1.3.1.1 Banda de 2,1 GHz IMT-2000**

Se establecen hasta 50/60 MHz de Ancho de Banda total, para ser usado como alternativa a las torres terrestres del sistema IMT.

**Aplicación Típica:** Enlaces para el Servicio Móvil 3G (datos/voz/video).

**Atribución:** A nivel mundial (el ancho de banda definitivo podría variar levemente por Región).

#### **B.1.3.1.2 Banda de 27/28 & 31GHz**

Se establecen 300 MHz en cada dirección, compartido con el Servicio Fijo por Satélite y Servicios Terrestres.

**Aplicación Típica:** Servicios Fijo de Banda Ancha (datos/voz/video).

**Atribución:** Todos los países de la Región 2, donde se considera:

Toda América incluidos USA, Canadá, México y Brasil; Indonesia, Pakistán, Japón, Vietnam, Irán, Tailandia, Burma (Myanmar), Corea del Norte, Sri Lanka, Mongolia, Bhutan, Maldivas, Rusia, Filipinas, Corea del Sur, Uzbekistan, Malasia, Kazakhstan, Kirgizstan y Lesotho.

Se debe notar que en USA estas bandas están asignadas casi exclusivamente para el Servicio Fijo Terrestre LMDS (Local Multipoint Distribution Service).

La FCC ha determinado también que las plataformas aéreas deberían cumplir la reglamentación técnica establecida para LMDS, es decir, que los poseedores de una licencia LMDS pueden utilizar sistemas basados en HAPS sin que se requiera una nueva Licencia por uso del espectro.

#### **B.1.3.1.3 Banda de 47/48 GHz**

Se establecen 300 MHz en cada dirección, compartidos con Servicio Fijo por Satélite.

**Aplicación Típica:** Enlace para Servicio Fijo de Banda Ancha (datos/voz/video).

**Atribución:** A nivel mundial

Las HAPS constituyen una solución tecnológica que, por su complejidad tanto de construcción como por la coordinación con la infraestructura terrestre, ha demorado su implementación por parte de los fabricantes y por los entes reguladores.

Para su desarrollo a nivel país se requiere de una compleja infraestructura que debe ser habilitada en el espacio, por lo cual se requiera recomendable la participación de un Operador de Telecomunicaciones a nivel nacional al menos.

### **B.1.3.2 Documentación HAPS**

Se adjuntan en Anexo los siguientes documentos relativos a la Asignación de Frecuencias para la operación de las tecnologías HAPS:

Anexo 11. [RESOLUCIÓN 122-CMR03-HAPS.doc](#)

Anexo 12. [Resolución 221-CMR-03-HAPS.doc](#)

Anexo 13. [RESOLUCIÓN-COM5 17-CMR-03-HAPS.doc](#)

Anexo 14. [RESOLUCIÓN 734-CMR-03-HAPS.doc](#)

Anexo 15. [Otros HAPS.pdf](#)

Anexo 16. Operational and Technical Characteristics for a Terrestrial IMT-2000 System using High Altitude Platform Stations:

[Doc 2 049E 3G HAPS.pdf](#).

Anexo 17. FCC. United States. Draft Preliminary Views on WRC-07: [DA-04-1698A1.doc](#)).

### **B.1.4 UWB**

#### **B.1.4.1 Situación Internacional**

La tecnología UWB está planteada para uso básicamente en tres diferentes áreas:

- a) Sistemas de Comunicaciones para Electrónica de Consumo: Banda de frecuencias de 3,1 a 10,6 GHz.
- b) Sistema de radar de corto alcance para vehículos: Banda de frecuencias en torno a los 24 GHz.
- c) Sistemas de Imágenes y aplicaciones militares: Rango de frecuencias menores a 1 GHz, aun no definidas y en proceso de pruebas.

Existe un significativo interés internacional por el uso e implicancias de la tecnología Ultra Wide Band. En general existen dos puntos coincidentes de preocupación en casi todas las Administraciones involucradas:

- o El potencial de interferencia sobre otros servicios.
- o El método de acomodación de los dispositivos con esta tecnología en la radio regulación considerando que UWB puede ser utilizada en un amplio rango del espectro de frecuencias, que podrían incluir servicios de diferente tipo (Fijo, Movil, Satelital) de acuerdo a las Atribuciones de la ITU.

Los dispositivos con tecnología UWB funcionan empleando pulsos de duración muy corta que dan lugar a anchuras de banda muy grandes en la transmisión.

Con estándares técnicos apropiados, estos dispositivos pueden funcionar en la sección de espectro de frecuencias ocupado por servicios de radio existentes sin causar interferencia, permitiendo que los recursos escasos del espectro sean utilizados más eficientemente.

Es por ello que los servicios o dispositivos que utilizan UWB están aun en proceso de testeo por parte de las autoridades reguladoras de Estados Unidos, en la banda de frecuencias de **3,1 a 10,6 GHz**.

Durante 2003, la FCC ha estado realizando consultas con la industria y mediciones de interferencia producidas por los dispositivos UWB en otras bandas y servicios (podrían ser afectados los servicios GPS o Global Positioning Systems).

Uno de los temas mas relevantes por tratarse de sistemas públicos, es la interferencia que estos dispositivos UWB podrían producir en los servicios móviles celulares PCS o AMPS.

Para ello y basado en las mediciones, la FCC ha recomendado, aun en forma provisoria, una serie de limitaciones a los niveles de interferencia, a fin de permitir la operación de la tecnología UWB coordinadamente con otros servicios, ver referencia [\[9\]](#) documento FCC "Memorandum Opinion and Order and Further Notice of Proposed Rule Making" - FCC Marzo 2003) .

El Ministerio de Telecomunicaciones de Japón ha demostrado mucho interés en el desarrollo de dispositivos domésticos usando la tecnología UWB. Se planea implementar dispositivos para uso en interior tales como videocámaras y computadores. En Agosto 2002, el Communications Research Centre de Japón, formó un grupo de estudio de la tecnología UWB una de cuyas misiones es trabajar en el Japan's Communications Research Laboratory con la industria de UWB de ese país para el establecimiento de normas y estándares junto a otros cuerpos estandarizadores. Ver referencia [\[11\]](#).

#### **B.1.4.2 Documentación UWB**

Se adjuntan en Anexo los siguientes documentos relativos a la Asignación de Frecuencias para la operación de las tecnologías UWB:

Anexo 18.[Resolución UIT-UWB.doc](#)

Anexo 19.[FCC UWB allocation.doc](#)

Anexo 20.Ultra Wide Band Activities Update Febrero 2004 - OFCOM (UK):[OFTEL UWB Update Regulacion.doc](#)

Anexo 21.Ultra Wide Band. A Background Brief - Australian Communication Authority, Mayo 2003:[UWB ACA.doc](#)

Anexo 22.Cuestión UIT-R 226/1 - Marco de gestión del espectro relativo a la introducción de los dispositivos de ultra banda ancha:[Cuestion UIT R226-1.doc](#)

Anexo 23.Cuestión UIT-R 227/1. Compatibilidad entre los Dispositivos de Ultrabanda Ancha y los Servicios de Radiocomunicación:  
[CUESTION UIT-R227-1.DOC](#)

Considerando la expectación con que se espera el desarrollo y avance de las tecnologías UWB en el mundo, se estima de importancia disponer las asignaciones de frecuencia en Chile tendientes a permitir en el corto plazo la operación de dispositivos UWB en la banda de **3,1 – 10,6 GHz**, en base a una operación no licenciada pero con eficiente registro de dispositivos que usan la tecnología a fin de evitar tecnologías deficientes que produzcan interferencias no deseadas en otros servicios.

La tecnología UWB está siendo asignada para operación como servicios no licenciados en Estados Unidos. Se recomienda que, para los dispositivos que operen con tecnología UWB en zonas del espectro no licenciadas, se establezca un requisito de registro a fin de asegurar la no proliferación de dispositivos que puedan afectar con interferencias a otras bandas.

La situación de asignación de frecuencias para la tecnología UWB en Europa es similar a Estados Unidos. Se espera que a fines del 2004 o a mediados del 2005 ya se tenga una cantidad suficiente de datos de funcionamiento de la tecnología que permita asegurar su operación sin interferencias en los servicios existentes.

Se debe tener en cuenta además, que la tecnología UWB está siendo empleada también en el desarrollo de sistemas de radar vehiculares en la banda de **22 - 29 GHz**, por lo que esta zona del espectro de frecuencias también debe estudiarse.



## B 1.5 Conclusiones

Conforme con la investigación realizada, en esta etapa podemos concluir lo siguiente:

- o La situación regulatoria actual y futura internacional relacionada con las tecnologías **WiMax, FSO, HAPS y UWB**, aún se observa en un constante desarrollo y trabajo por los cuerpos estandarizadores, con el fin de permitir la utilización y comercialización de estas soluciones de Nuevas Tecnologías.
- o Aún no existen regulaciones ni recomendaciones internacionales claras que permitan decidir la mejor alternativa para impulsar alguna de estas iniciativas.
- o Sin embargo, por la intensa actividad desarrollada por parte de fabricantes y organizaciones internacionales, la aplicación más cercana a la realidad chilena con necesidades regulatorias a materializar en el breve plazo, es la orientada a la utilización de **WiMax**.
- o En cuanto a la tecnología **FSO** no es un tema de preocupación por parte de los organismos reguladores de espectro en el mundo, por tratarse de sistemas operando en la zona de infrarrojo con enlaces de tipo láser sin problemas de interferencias. Por lo tanto, Subtel podrá administrar la instalación, operación y explotación de estos equipos de acuerdo a lo establecido en el Artículo 3° de la Ley General de Telecomunicaciones, para mantener un control de los equipos y sistemas en operación.
- o Finalmente, las tecnologías **HAPS y UWB**, aún están en proceso de optimización de su performance o comportamiento como sistema de telecomunicaciones, por lo que es necesario estar atento y realizar el seguimiento de las recomendaciones respectivas provenientes particularmente de la ITU.

## **C. Propuesta de Servicios**

### **C.1 Autorización de las Frecuencias Asociadas a WiMax, FSO, HAPS y UWB**

De acuerdo a la legislación chilena de telecomunicaciones, el uso del espectro de frecuencias radioeléctricas y la instalación operación y explotación de equipos de telecomunicaciones debe ser autorizado por la Subsecretaría de Telecomunicaciones (SUBTEL). El marco legal está definido por la Ley General de Telecomunicaciones N° 18.168 del 02 de octubre de 1982, como también por sus Reglamentos y Normas asociadas.

En el contexto de esta legislación un solicitante debe definir previamente la característica del servicio que desea operar con la banda de frecuencias que requiere, de acuerdo con el siguiente Art. 3 de la Ley General de Telecomunicaciones (LGT).

**“Artículo 3°.-** Para los efectos de esta ley los servicios de telecomunicaciones se clasificarán en la siguiente forma:

- a) Servicios de telecomunicaciones de libre recepción o radiodifusión, cuyas transmisiones están destinadas a la recepción libre y directa por el público en general. Estos servicios comprenden emisiones sonoras, de televisión o de otro género.

Dentro de estos servicios, constituyen una subcategoría los servicios de radiodifusión de mínima cobertura. Son éstos los constituidos por una estación de radiodifusión cuya potencia radiada no exceda de 1 watt como máximo, dentro de la banda de los 88 a 108 MHz. Esto es, la potencia del transmisor y la que se irradia por antena no podrá exceder de 1 watt y su cobertura, como resultado de ello, no deberá sobrepasar los límites territoriales de la respectiva Comuna.

Excepcionalmente y sólo tratándose de localidades fronterizas o apartadas y con población dispersa, lo que será calificado por la Subsecretaría, la potencia radiada podrá ser hasta 20 watts.

- b) Servicios públicos de telecomunicaciones, destinados a satisfacer las necesidades de telecomunicaciones de la comunidad en general. Estos deberán estar diseñados para interconectarse con otros servicios públicos de telecomunicaciones.
- c) Servicios limitados de telecomunicaciones, cuyo objeto es satisfacer necesidades específicas de telecomunicaciones de determinadas empresas, entidades o personas previamente convenidas con éstas. Estos servicios pueden comprender los mismos tipos de emisiones

mencionadas en la letra a) de este artículo y su prestación no podrá dar acceso a tráfico desde o hacia los usuarios de las redes públicas de telecomunicaciones.

- d) Servicios de aficionados a las radiocomunicaciones, cuya finalidad es la intercomunicación radial y la experimentación técnica y científica, llevadas a cabo a título personal y sin fines de lucro.
- e) Servicios intermedios de telecomunicaciones, constituidos por los servicios prestados por terceros, a través de instalaciones y redes, destinados a satisfacer las necesidades de transmisión o conmutación de los concesionarios o permisionarios de telecomunicaciones en general, o a prestar servicio telefónico de larga distancia a la comunidad en general.”

De esta manera, los servicios actualmente definidos en la LGT y que podrían ser utilizados con las nuevas tecnologías son:

- o **Servicio Público de Telecomunicaciones**
- o **Servicio Limitado de Telecomunicaciones.**
- o **Servicio Intermedio.**

Se excluyen los Servicios de Radiodifusión y de Aficionados.

A continuación, en base a la normativa técnica chilena, se propone y recomienda una modalidad para la asignación de las bandas de frecuencias en cada tecnología.

## **C.2 Propuesta de regulación para WiMax**

WiMax constituye una tecnología que ha despertado un gran interés de la industria porque mejora ostensiblemente la cobertura de los servicios de Banda Ancha hasta el usuario final, así como también, la capacidad de transferencia de información entre la fuente de información y el usuario final.

Se puede llegar a comparar las facilidades del WiMax con las que ofrece la tecnología ADSL, llegando a concluir que el WiMax es superior en cobertura y capacidad de transmisión de servicios que el ADSL, teniendo presente que se trata de dos tecnologías que utilizan diferentes medios para transmitir la información, es decir, ambas son redes de acceso pero, WiMax es Wireless y ADSL es Wireline, con todas las fortalezas y debilidades de cada una de ellas.

La infraestructura requerida para el despliegue de Estaciones Base para el servicio de WiMax, es aún de un alto valor, lo que hace necesaria la

intervención de un operador de telecomunicaciones para lograr un despliegue armónico de los recursos con una adecuada planificación de coberturas y economías de escala.

Esto no implica que los operadores sean excluyentes en cada área de servicios. Independiente de lo anterior y si la Autoridad así lo define, existiría la posibilidad de usar esta tecnología para un uso privado o en áreas restringidas y sólo para aquellos usuarios permitidos de una red privada (caso de empresas mineras o forestales).

### **C.2.1 Regulación del Espectro de Frecuencias WiMax.**

En consideración a que en la discusión internacional no se ha vislumbrado una propuesta de los fabricantes u organismos internacionales, en torno a utilizar técnicas de transmisión o modulación que permitan compartición de frecuencias para la tecnología WiMax, y que existen consideraciones de tráfico asociadas a cada área de cobertura de las estaciones base que impactan en la mayor o menor disponibilidad de canales por estación, se recomienda que la asignación del espectro se haga en base a **Concurso Público** que permita a los interesados realizar una adecuada planificación de calidad de servicio, congestión e interferencias con la reutilización de frecuencias. Las condiciones para el llamado a Concurso sólo se podrían definir una vez conocidas en forma definitiva las características técnicas de emisión y operación de los equipos, en especial cuando se disponga de una propuesta definitiva del mercado de fabricantes y las Recomendaciones de la UIT respecto de la canalización dentro de la banda de operación elegida.

### **C.2.2 Regulación de los Servicios ofrecidos utilizando WiMax.**

Dadas las características tecnológicas de los equipos, la infraestructura asociada de estaciones base, su interconexión con las redes públicas o privadas existentes y teniendo en cuenta las capacidades técnicas de transmisión expuestas en el apartado A: [Análisis Técnico](#) de este Estudio, nos permite concluir que la tecnología Wimax es adecuada para la transmisión de Servicio Público de diversos tipos tales como: Transmisión de Datos y, en un futuro, Telefonía sobre IP (VoIP). En cuanto a la Telefonía Convencional, por el momento no se ve factible dadas las condiciones técnicas del protocolo de comunicaciones (TCP/IP).

Por lo tanto, es plenamente factible su autorización como un **Servicio Público de Telecomunicaciones de Transmisión de Datos**. En la eventualidad de generarse una Norma en torno a la Telefonía sobre IP, podría ser factible el servicio a través de Wimax, dependiendo de lo especificado por el peticionario en la respectiva Solicitud de Concesión, lo que por cierto, debe estar en concordancia con las definiciones presentes en la legislación.

Así mismo es factible considerar la existencia de empresas operadoras de infraestructura que estén dispuestas a realizar un despliegue de red WiMax

con el fin de arrendar estos recursos a operadores comerciales, los que a su vez los ofrecerán a usuarios finales en calidad de Concesionarios de Servicio Público o Permisarios de Servicio Limitado. En este caso la recomendación es una autorización como **Servicio Intermedio de Telecomunicaciones**.

Otra posibilidad factible de analizar con esta tecnología es el caso de aquellas empresas que, por su ubicación geográfica u otra condición, como las empresas mineras y forestales requieran desplegar infraestructura WiMax para uso interno sin acceso a redes externas. En tal caso se recomienda su autorización a través de un permiso de **Servicio Limitado de Telecomunicaciones** con las características de cobertura definidas por la peticionaria. Esta posibilidad de servicio está sujeta a las condiciones de asignación del espectro radioeléctrico necesario para la operación.

En caso que sólo existiera la posibilidad de acceder al espectro a través de Concurso Público, el servicio Limitado de Telecomunicaciones para empresas o particulares podría quedar descartado como alternativa.

### C.2.3 Oportunidad de Regular WiMax

Se estima que la oportunidad de regular la utilización de la tecnología WiMax, está llegando a Chile y muy rápidamente, empujados por el mercado y por los siguientes acontecimientos relevantes:

- o WiMax Forum tendrá terminada la Certificación de estos equipos a fines del año 2004 o durante el primer semestre del 2005, el usuario final podrá tener la alternativa de adquirir sus equipos de acuerdo con la mejor oferta del mercado bajando los costos de inversión en su red.
- o Considerando que se espera disminuir la Brecha Digital existente entre las zonas urbanas y las zonas más alejadas y rurales de nuestro país, interconectando con banda ancha especialmente a los colegios y escuelas, esta puede ser una gran oportunidad para alcanzar este objetivo, diseñando redes mixtas basadas en los beneficios de la tecnología WiMax aplicables a la "última milla" del enlace.
- o Las tendencias internacionales apuntan a lograr en el corto plazo, una masificación de estos equipos WiMax, ya sea para el uso fijo como para las aplicaciones con movilidad, lo que significa que por razones de masa crítica, el costo de estos sistemas tenderá a bajar, haciendo cada vez mas popular su utilización, por lo que deberá estar preparada la normativa para ser aplicada en dichos momentos de demanda.

Se recomienda preparar rápidamente los antecedentes técnicos pertinentes, para regular el uso del espectro para esta tecnología, y completarla una vez que se definan las certificaciones técnicas del Forum WiMax.

### C.3 Propuesta de regulación para FSO.

Teniendo en cuenta lo ya dicho en el punto B.1.2 anterior, la autorización para el despliegue de esta tecnología en Chile depende de las condiciones expuestas por los peticionarios en su solicitud a Subtel y del tipo de Servicio que se pretenda ofrecer, atendiendo a que en Chile la instalación operación y explotación de equipos de telecomunicaciones debe ser autorizada por la Subsecretaría de Telecomunicaciones.

#### C.3.1 Regulación del Espectro de Frecuencias FSO.

En consideración a que esta tecnología utiliza espectro de frecuencias en rango de infrarrojo (láser) sobre las cuales no se aplican regulaciones por parte de la UIT y teniendo en cuenta que la experiencia internacional revisada en este estudio no aplica regulaciones sobre el uso de esta zona del espectro, consideramos innecesaria cualquier regulación de este tipo. Por ello se recomienda que no se establezcan regulaciones sobre esta zona del espectro en los sistemas FSO.

#### C.3.2 Regulación de los Servicios ofrecidos utilizando FSO.

Los sistemas que utilizan Free Space Optical en su operación, constituyen sistemas de comunicaciones esencialmente de tipo troncales, esto es, comunican o enlazan a otros sistemas. Por lo tanto pueden ser utilizados como parte constitutiva de un Servicio Público de cualquier tipo o de un Servicio Limitado de Telecomunicaciones o también, constituir por sí mismos, una red de Servicio Intermedio de Telecomunicaciones para atender a otros concesionarios o empresas.

En cuanto al permiso o autorización para instalar operar y explotar sistemas o equipos de telecomunicaciones FSO, cada petición se deberá analizar individualmente de acuerdo a lo solicitado por el peticionario, pudiéndose autorizar como **Servicio Público** en cualquiera de sus tipos establecidos en la Ley General de Telecomunicaciones, **Servicio Intermedio** o **Servicio Limitado de Telecomunicaciones**, de acuerdo a lo especificado por el peticionario y la aplicación que desarrollará con dichos equipos.

#### C.3.3 Oportunidad de Regular FSO

De acuerdo al desarrollo tecnológico y avances principalmente entre los fabricantes de equipos de telecomunicaciones, se considera que esta tecnología, como tal, estará disponible para cualquier operador en el corto plazo, por lo cual, desde ya, podría ser incluida en cualquier solicitud a Subtel. Como se ha dicho antes, la regulación de Subtel deberá estar orientada a la instalación operación y explotación de estos equipos, sin intervención sobre el aspecto radioeléctrico por su naturaleza de láser infrarrojo.

## **C.4 Propuesta de regulación para HAPS.**

Las plataformas High Altitude Platforms Stations (HAPS) constituyen una nueva infraestructura que se deberá disponer en el espacio. Su operación estará relacionada a los sistemas terrestres de comunicaciones.

Su gran característica es que esta infraestructura es de un valor mucho menor que un sistema satelital tradicional. Los expertos en este tipo de tecnología, estiman que una HAPS es diez veces menor que el costo de poner en órbita a un satélite de comunicaciones, pero llega a tener un muy alto valor y su instalación en el espacio la hacen más costosa y compleja que un sistema tradicional de microondas.

Quienes instalen, operen y exploten estas plataformas deberán ser operadores de telecomunicaciones establecidos con coberturas de servicio en el ámbito local o internacional, dado que las áreas de cobertura de la HAPS pueden sobrepasar fronteras regionales o de países.

### **C.4.1 Regulación del Espectro de Frecuencias HAPS.**

En lo relativo al uso del espectro radioeléctrico, el estado actual de la tecnología no permite identificar con certeza la definición de las canalizaciones asociadas ni sus características técnicas de transmisión o de compartición de frecuencias, aunque se presume que cada frecuencia de canal está sujeta a posibilidades de reutilización (no compartición) en otra estación HAPS de acuerdo a un proceso de planificación de coberturas y frecuencias. Por lo anterior, el Plan de Frecuencias para el despliegue de esta tecnología es de vital importancia para el operador que la implemente.

Por otra parte, una HAPS es una infraestructura que puede dar acceso a usuarios finales que requieren gran ancho de banda, a toda una comunidad o a empresas que lo soliciten. La filosofía de operación la hace similar a una Estación Base terrestre para el servicio IMT-2000, con la diferencia de su mayor capacidad de transmisión por canal y, por lo tanto su mayor capacidad de tráfico por estación. Para el caso de otras aplicaciones diferentes de IMT-2000, como es el caso de conexión directa de empresas, la capacidad de transmisión de información, les permite utilizar este recurso tecnológico para acceder a otras redes o servicios

Como se dijo antes, por la información que se dispone en la actualidad, se proponen 3 potenciales bandas de frecuencias a utilizar en estas estaciones para la comunicación hacia y desde sistemas terrestres.

Para el caso de la banda de 2,1 GHz y su utilización por sistemas IMT-2000 del Servicio Móvil Terrestre, se recomienda efectuar una regulación y asignación de espectro por medio de un **Concurso Público** que permita a los operadores interesados acceder a un subsegmento del espectro adecuado a sus necesidades y proyecciones de tráfico.

Para el caso de las bandas de 27,5 GHz a 31,3 GHz y 47,2 GHz a 48,2 GHz para el servicio fijo de banda ancha de datos, voz y video, se recomienda esperar una recomendación definitiva de la UIT en torno a la canalización y proceder a su asignación a través de una petición respaldada por necesidades de servicio por parte de los peticionarios y en base al **proyecto técnico asociado**.

#### C.4.2 Regulación de los Servicios ofrecidos utilizando HAPS.

Dada su característica técnica y la utilización proyectada de cada una de las potenciales bandas de frecuencias, la instalación, operación y explotación de esta infraestructura podría estar asociada a diversos tipos de Servicio.

La utilización de la banda de 2,1 GHz para los servicios del tipo IMT-2000, podría ser asignada para **Servicios Públicos de Telecomunicaciones** tanto de Telefonía, Transmisión de Datos u otro que la legislación permita (Voz sobre IP).

Las bandas de frecuencias restantes, pueden ser asignadas como un **Servicio Público de Telecomunicaciones** de cualquier tipo (de Telefonía, Transmisión de Datos, etc) ya que la infraestructura HAPS pasaría a ser una parte de la red de dicho operador, lo que ocurriría en el caso de un operador global de telecomunicaciones. Por otra parte puede ocurrir que la infraestructura de HAPS pueda ser instalada, operada y explotada por terceras empresas como un **Servicio Intermedio de Telecomunicaciones**, para atender necesidades de otras operadoras de telecomunicaciones y empresas que lo soliciten.

#### C.4.3 Oportunidad de Regular HAPS

Considerando las opiniones de los expertos y científicos de los diferentes centros de investigación en Japón, USA, Italia, España, y también en Chile, aún falta clarificar varios aspectos técnicos en el lanzamiento de una tecnología HAPS, tanto en los materiales a emplear para obtener un óptimo comportamiento en el aire, como la fijación del dispositivo, globo o avión en las latitudes planificadas.

Por estas razones muy valederas y atendibles, se estima que el acontecimiento que podría “gatillar” y apurar esta tecnología para su regulación, es la necesidad de tener una base repetidora en alguna zona extrema para apoyar el uso de las nuevas tecnologías, tales como el 3G o 4G de móviles, satisfaciendo la interconexión de los servicios de banda ancha en las áreas aisladas, siempre que los precios para el usuario final así lo ameriten.

En definitiva y dado el estado del arte en esta tecnología, se recomienda estar atento a su desarrollo y tener algunos delineamientos normativos preparados para ser aplicados en Chile, de acuerdo con las recomendaciones internacionales.



## C.5 Propuesta de regulación para UWB.

Teniendo en cuenta las aplicaciones que los fabricantes de estos equipos están proponiendo, tales como en electrónica de consumo en general con interfaz UWB, equipamiento computacional, sistemas de radar en vehículos, manipulación de imágenes, entre otras, se estima que en el futuro existirán muchos dispositivos que en forma natural, serán portadores de alguna interfaz UWB. Esto significa que no se necesitará una compleja infraestructura de telecomunicaciones para el desarrollo y aplicación de UWB.

### C.5.1 Regulación del Espectro de Frecuencias UWB.

La tecnología Ultra Wide Band se caracteriza por ser de corta distancia en su área de cobertura, solo unos cuantos metros, en general nunca más de 100 metros. Por ello, podría considerarse que la cobertura de los dispositivos UWB no exceden los límites de un domicilio. Por esta razón es que la autorización de uso de frecuencias para esta tecnología no debiera ser impedimento para la incorporación de estos dispositivos a nuestras vidas.

Estimamos que, para los dispositivos con las características de cobertura y potencia que se mencionan en el apartado A. [Análisis Técnico](#) de este estudio, se debiera definir una Normativa especial sujeta sólo a una **autorización de Subtel**, que permita su operación, en forma similar a lo que hoy se maneja en torno a los teléfonos inalámbricos domiciliarios de 900 MHz u otros. No se vislumbran aún aplicaciones que nos hagan pensar en asignación de frecuencias a través de Concursos Públicos o asignaciones específicas por proyecto. Una de las propuestas tecnológicas UWB que hoy se discute y analiza en el concierto internacional (Motorola – Xtreme Spectrum), permite la compartición de frecuencias con otros servicios utilizando técnicas de Espectro Ensanchado.

### C.5.2 Regulación de los Servicios ofrecidos utilizando UWB.

Por sus características de cobertura, UWB está inserta en el concepto de un **Servicio Limitado de Telecomunicaciones**. Por su característica tecnológica e interferencias mínimas o nulas sobre otros servicios, existirán muchos dispositivos domésticos operando con UWB. Por lo anterior se recomienda estudiar y generar las condiciones legales que permitan el despliegue rápido de la tecnología en Chile. Consideramos que Subtel puede, con las atribuciones que le otorga la legislación vigente, producir el ordenamiento jurídico necesario, en el marco de la Ley General de Telecomunicaciones vigente.

### **C.5.3 Oportunidad de Regular UWB**

Considerando especialmente las aplicaciones domésticas, militares y también de telecomunicaciones, y si esta tecnología se enmarca en un Servicio Limitado, se recomienda reservar las bandas de frecuencias asociadas (**3,1 a 10,6 GHz**), asignadas a un tipo de servicio que permita la operación, sin mayor restricción a todos los dispositivos de electrónica de consumo y otros similares indicados anteriormente.

Con respecto a las bandas de frecuencia para Sistemas de Imágenes y Sistemas de Radar de corto alcance para vehículos, no se ha detectado en el transcurso de este estudio, mayor información y precisiones definitivas respecto de la banda de frecuencias asociadas, por lo cual se recomienda esperar que decanten los procesos de investigación principalmente en la FCC para iniciar los estudios correspondientes de reserva de frecuencias en Chile.

## C.6 Conclusiones

Considerando los aspectos mencionados en A (Análisis Técnico) y B (Análisis Reglamentario y Normativo), y aplicando el actual desarrollo de las tecnologías en estudio, a continuación se resumen las recomendaciones y alternativas de propuesta de servicios asociada a cada tecnología, para el análisis posterior de la Subsecretaría de Telecomunicaciones.

**WiMax:** Se sugiere asignar el espectro de frecuencias correspondiente por medio de un Concurso Público. La instalación operación y explotación de equipos que utilizan esta tecnología puede otorgarse por medio de un Servicio Público de Telecomunicaciones, Servicio Intermedio o Servicio Limitado. Al mismo tiempo, es necesario preparar la normativa correspondiente tan pronto como sea posible.

**FSO:** Por su característica de frecuencias en el rango de infrarrojo y tecnología de emisión LASER (Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation), no se recomienda asignación regulada del espectro. La instalación operación y explotación de equipos que utilizan esta tecnología puede otorgarse por medio de un Servicio Público de Telecomunicaciones, Servicio Intermedio o Servicio Limitado.

**HAPS:** De acuerdo a la banda de frecuencias que se trate, se recomienda su asignación por medio de un Concurso Público o por petición directa en base a un Proyecto Técnico. La instalación operación y explotación de los equipos que utilicen esta tecnología puede otorgarse por medio de un Servicio Público de Telecomunicaciones o Servicio Intermedio de Telecomunicaciones. A medida que avancen los desarrollos y estudios técnicos respectivos a nivel internacional, se recomienda realizar el seguimiento a las aplicaciones que se estén desarrollando en Chile por las Universidades y Centros de Investigación si estuvieran interesados en esta materia.

**UWB:** Por su característica de cobertura pequeña (unos pocos metros) la autorización de esta tecnología en Chile se asemeja a un Servicio Limitado de Telecomunicaciones. Sin embargo Subtel debiera producir las condiciones jurídicas para permitir el uso masivo de los dispositivos con esta tecnología.

## IV. CONCLUSIONES

Las conclusiones generales de mayor relevancia en la presente investigación considerando los análisis técnicos, presente, futuro y desarrollo de las tecnologías desde un punto de vista Regulatorio y Normativo alrededor del mundo, nos indica los siguientes aspectos a considerar en un estudio de regulación:

**WiMax** es el estándar emergente más importante del IEEE en vías de ser certificado por el Forum WiMax y en vías de ser ratificado por los cuerpos reguladores internacionales. Su mayor impacto se deberá en gran parte al Wi-Fi que ha creado el interés y aceptación en el mercado de redes inalámbricas. Pero el efecto de esta tecnología en el mundo de los negocios, Internet del consumidor y acceso inalámbrico se estima que será mucho más profundo.

En un período de 5 años se espera que WiMax sea la tecnología dominante para redes inalámbricas. Para ese entonces será completamente móvil al igual que podrá proporcionar acceso de banda ancha de bajo costo en nuevas regiones donde el acceso a Internet no ha podido ser práctico hasta ahora.

Intel, Nokia y los grandes fabricantes están efectuando grandes inversiones para el futuro del mundo de telecomunicaciones, dado a que reconocieron la gran importancia del WiMax que gracias a su más alta eficiencia en la transmisión de datos y su mucho menor costo de infraestructura comparado con las tecnologías actuales se convertirá en un estándar muy demandado. Esto asegurara la interacción entre los productos de diferentes marcas.

Por otra parte, el potencial de las tecnologías de redes denominadas Free Space Optics (**FSO**) se están convirtiendo en una opción popular para un acceso a banda ancha confiable, especialmente para resolver cuellos de botellas en comunicaciones de “última milla”.

FSO es una opción de alta velocidad y fácil de implementar principalmente para la interconexión de edificios, lo que se traduce en un rápido despliegue para una red de backbone metropolitano.

El rango máximo posible al utilizar ésta tecnología también permite sacrificar velocidad del enlace a cambio de disponer de un enlace mas lejano; sin embargo, en esta situación se hacen mas notables los efectos de obstrucción del enlace, como la neblina, smog o las nuevas edificaciones de edificios, que para un enlace con línea de vista óptico lo afecta considerablemente.

Con respecto a las **HAPS**, es interesante tener la posibilidad de utilizar una plataforma a gran altura para la distribución de servicios de telecomunicaciones, ya que a medida que la demanda de estos servicios comience a aumentar en forma explosiva el espectro de frecuencias se irá completando, dejando disponibles sólo las bandas de frecuencias más altas. Si bien es cierto que en estas bandas se

puede obtener un ancho de banda mayor, ello también conlleva una serie de limitantes debido a problemas de propagación.

La utilización de plataformas de gran altura surge como una alternativa de solución a los problemas de propagación de estaciones terrenas y como una alternativa más económica que la utilización de satélites.

La tecnología HAPS, una vez que se encuentre totalmente desarrollada y disponible para los operadores, significará un cambio rotundo en las nuevas redes de acceso a los abonados ya que con sólo un par de estos dispositivos se logrará dar cobertura a regiones completas, disminuyendo el costo de implementación y operación y por ende el costo para los usuarios finales.

Esta tecnología de HAPS, proveerá un mayor desarrollo de las telecomunicaciones a nivel mundial ya que permitirá aumentar la cobertura en áreas rurales, permitiendo el desarrollo de regiones aisladas y disminuyendo la brecha digital que existe en todos los países.

Cabe señalar que aún faltan algunos años para que estos sistemas se encuentren totalmente operativos, ya que existen una serie de limitantes tecnológicas y físicas que deben ser superadas, aunque ya existen algunas soluciones posibles.

Con relación a la tecnología **UWB**, se observa una interesante aplicación para ofrecer servicios a los hogares, con una distribución inalámbrica de los programas de TV, películas y juegos con intensivos archivos de datos del orden de mega bits por segundo ó 106 bits por segundo.

Por otro lado, también se necesita estar seguro que las transferencias de información no interferirán con otros sistemas inalámbricos o serán interferidos por UWB. Esta característica la proporciona UWB, además de requerir una baja potencia de transmisión.

UWB, es una de las más promisorias tecnologías de radio en la actualidad. Contrariamente a los sistemas convencionales de radio, que operan alrededor de un ancho de banda relativamente angosto, UWB opera a través de un amplio rango del espectro de frecuencias transmitiendo una serie de pulsos extremadamente angostos (10 – 1000 pulsos por segundos).

Esta tecnología permitirá aplicaciones que requieran flujos para video de alta definición entre los servidores mediales y las pantallas planas de los monitores de Alta Definición y una extremadamente rápida transferencia de archivos entre los servidores de medios y los dispositivos portátiles de medios.

Por lo tanto, las ventajas primarias de UWB son altas tasas de datos, bajo costo, y baja potencia. También provee menos interferencia que las radios de banda angosta, produciendo una baja probabilidad de detección y excelente inmunidad al efecto del multicamino en la propagación.

Cuando es combinado con el estándar PAN 802.15.3, UWB proveerá una interesante red inalámbrica multimedial para el hogar. Esto tendrá la habilidad de soportar múltiples dispositivos y múltiples redes independientes, donde ninguna red vecina interferirá con otra red UWB.

Con respecto a la situación de estas regulaciones podemos concluir lo siguiente:

La situación regulatoria actual y futura internacional relacionada con las tecnologías WiMax, FSO, HAPS y UWB, aún se observa un constante desarrollo y trabajo por los cuerpos estandarizadores, con el fin de permitir la utilización y comercialización de estas soluciones de Nuevas Tecnologías.

Aún no existen regulaciones ni recomendaciones internacionales claras que permitan decidir la mejor alternativa para impulsar alguna de estas iniciativas.

Sin embargo, por la intensa actividad desarrollada por parte de fabricantes y organizaciones internacionales, la aplicación más cercana a la realidad chilena con necesidades regulatorias a materializar en el breve plazo, es la orientada a la utilización de WiMax.

Se estima que la oportunidad de regular la utilización de la tecnología WiMax, está llegando a Chile y muy rápidamente, empujados por los fabricantes y el mercado

En cuanto a la tecnología FSO no es un tema de preocupación por parte de los organismos reguladores de espectro en el mundo, por tratarse de sistemas operando en la zona de infrarrojo con enlaces de tipo láser sin problemas de interferencias. Por lo tanto, Subtel podrá administrar la instalación, operación y explotación de estos equipos de acuerdo a lo establecido en el Artículo 3° de la Ley General de Telecomunicaciones, para mantener un control de los equipos y sistemas en operación.

Finalmente, las tecnologías HAPS y UWB, aún están en proceso de optimización de su performance o comportamiento como sistema de telecomunicaciones, por lo que es necesario estar atento y realizar el seguimiento de las recomendaciones respectivas provenientes particularmente de la ITU.

Considerando los aspectos anteriores y aplicando el actual desarrollo de las tecnologías en estudio, a continuación se presentan las recomendaciones y alternativas de propuesta de servicios asociada a cada tecnología, para el análisis posterior de la Subsecretaría de Telecomunicaciones.

**WiMax:** Se sugiere asignar el espectro de frecuencias correspondiente por medio de un Concurso Público. La instalación operación y explotación de equipos que utilizan esta tecnología puede otorgarse por medio de un Servicio Público de Telecomunicaciones, Servicio Intermedio o Servicio Limitado. Al mismo tiempo, es necesario preparar la normativa correspondiente tan pronto como sea posible.

**FSO:** Por su característica de frecuencias en el rango de infrarrojo y tecnología de emisión LASER (Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation), no se recomienda asignación regulada del espectro. La instalación operación y explotación de equipos que utilizan esta tecnología puede otorgarse por medio de un Servicio Público de Telecomunicaciones, Servicio Intermedio o Servicio Limitado.

**HAPS:** De acuerdo a la banda de frecuencias que se trate, se recomienda su asignación por medio de un Concurso Público o por petición directa en base a un Proyecto Técnico. La instalación operación y explotación de los equipos que utilicen esta tecnología puede otorgarse por medio de un Servicio Público de Telecomunicaciones o Servicio Intermedio de Telecomunicaciones. A medida que avancen los desarrollos y estudios técnicos respectivos a nivel internacional, se recomienda realizar el seguimiento a las aplicaciones que se estén desarrollando en Chile por las Universidades y Centros de Investigación si estuvieran interesados en esta materia.

**UWB:** Por su característica de cobertura pequeña (unos pocos metros) la autorización de esta tecnología en Chile se asemeja a un Servicio Limitado de Telecomunicaciones. Sin embargo Subtel debiera producir las condiciones jurídicas para permitir el uso masivo de los dispositivos con esta tecnología.

## V. BIBLIOGRAFIA

### Bibliografía WIMAX

- [1] <http://www.wimaxforum.org>
- [2] [Comentarios Presidente del TWG WiMax - Forum WiMax.](#)
- [3] <http://informationweek.mobilepipeline.com>
- [4] <http://www.wimaxworld.com>
- [5] <http://www.wimax.co.uk>
- [6] <http://en.wikipedia.org>
- [7] <http://www.palowireless.com>
- [8] <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/>
- [9] <http://wireless.axialcomunicaciones.com>
- [10] <http://www.phpnuke-espanol.org>
- [11] <http://www.phpnuke-hispano.com>
- [12] <http://www.pyr.com>
- [13] <http://www.intel.com/netcomms/technologies/wimax/>
- [14] [New Wireless Band Plays For Bigger Broadband](#), 10 June 2004
- [15] <http://www.wi-fiplanet.com>
- [16] [WiMAX RegulatoryWorkingGroupAnnouncement FINAL 05 28 04.pdf](#)
- [17] [IEEE 802.16 and WiMAX \(INTEL\).pdf](#)
- [18] Consultation Paper: Deployment of Wireless Broadband Technologies in Singapore: [WBA Public Consultation 020404 Singapur.pdf](#)
- [19] [WiMAX - Members Regulatory Final.pdf](#)
- [20] [WiMAX Forum Regulatory Whitepaper v06162004.pdf](#)
- [21] [WiMAX - WCA Carrier Regulatory AWG Final.pdf](#)

### Bibliografía FSO

- [1] <http://www.fsona.com/>
- [2] <http://www.isp-planet.com/cplanet/business/piscitelloaug01.html>
- [3] <http://www.free-space-optics.org/>
- [4] <http://www.airfiber.com/tech/wireless.htm>
- [5] <http://www.freespaceoptics.com/index.shtml>
- [6] <http://www.airfiber.com/tech/Physics of Free-space Optics.pdf>
- [7] <http://en.wikipedia.org/wiki/Scintillation>
- [8] <http://www.laserbit.net/>
- [9] [http://www.pulsewan.com/wireless/laser\\_pp\\_menu.htm](http://www.pulsewan.com/wireless/laser_pp_menu.htm)
- [10] [http://patmattos.netfirms.com/\\_sgt/m4\\_1.htm](http://patmattos.netfirms.com/_sgt/m4_1.htm)
- [11] [www.ofcom.ch/imperia/md/content/english/funk/forschungundentwicklung/studien/FreeSpaceLaser.pdf](http://www.ofcom.ch/imperia/md/content/english/funk/forschungundentwicklung/studien/FreeSpaceLaser.pdf).
- [12] <http://www.free-space-optics.org/>

### Bibliografía HAPS



- [1] TOZER, T. C. & GRACE, D.  
Communications Research Group, Department of Electronics  
**University of York, York, UK**  
[www.amp.york.ac.uk/external/comms](http://www.amp.york.ac.uk/external/comms)
- [2] **York University, Electronics Department**  
<http://www.elec.york.ac.uk/comms/haps.html>
- [3] TOZER, T. C. & GRACE, D.,  
**The European HeliNet Project**, Airship Convention 2000,  
Friedrichshafen, July 2000.
- [4] **HeliNet**, <http://www.helinet.polito.it>
- [5] **Zeppelin**, <http://www.zeppelin-nt.com>
- [6] **Yokosuka CRL**, <http://www2.crl.go.jp/t/team2/index.html>
- [7] **Platforms Wireless International**, <http://www.plfm.com>
- [8] **CAPANINA Project**, <http://www.capanina.com>
- [9] [RESOLUCIÓN 122-CMR03-HAPS.doc](#)
- [10] **Institut Jozef Stefan-IJS**, <http://www.ijs.si>
- [11] **Politecnico di Torino, Telecommunication Department**  
<http://www.tlc.polito.it>
- [12] **UTEM University**, <http://www.udem.vtt.cl>
- [13] **CERCOM, Research Center of Wideband Wireless Communication**,  
<http://www.cercom.polito.it>
- [14] [Resolución 221-CMR-03-HAPS.doc](#)
- [15] [RESOLUCIÓN-COM5 17-CMR-03-HAPS.doc](#)
- [16] [RESOLUCIÓN 734-CMR-03-HAPS.doc](#)
- [17] [Otros HAPS.pdf](#)
- [18] Operational and Technical Characteristics for a Terrestrial IMT-2000  
System using High Altitude Platform Stations:  
[Doc 2 049E 3G HAPS.pdf](#):
- [19] FCC. United States. Draft Preliminary Views on WRC-07:[DA-04-1698A1.doc](#)

## Bibliografía UWB

- [1] BRUNSON, L.K. et al., "Assessment of Compatibility between Ultrawideband Devices and Selected Federal Systems," NTIA Special Publication 01-43, U.S. Department of Commerce, January 2001, "Aggregate Interference Analysis", pp. 5-1 through 5.4.
- [2] KISSICK, W.A., editor, "The Temporal and Spectral Characteristics of Ultrawideband Signals," NTIA Report 01-383, U.S. Department of Commerce, January 2001, "Appendix E. Summary of Aggregate Measurements," pp. E-1 through E-9.
- [3] CARDOZA, M. et al., "Final Report Data Collection Campaign for Measuring UWB/GPS Compatibility Effects," TL-SG-01-01, 26 February 2001, sections 3.4.2, 4.3, 6.1.4 and 7.5.
- [4] "Final Report Ultra Wideband GPS Compatibility Analysis Report," Strategic Systems Department, The Johns Hopkins University/Applied Physics Laboratory, 8 March 2001, "Appendix G Analysis of Aggregate Ranging Data", pp. G-1 through G-6.
- [5] "Technical Appendix C to the October 27, 2000, Reply Comments of Time Domain Corporation, Revision A," 20 February 2001, Time Domain Corporation, pp. 48-50.
- [6] *Ex parte* filing by XtremeSpectrum, Inc., FCC ET Docket 98-153, 25 July 2001.
- [7] FONTANA, R.J., "Experimental Results from an Ultra Wideband Precision Geolocation System," EuroEM 2000, Edinburgh, Scotland, 30 May 2000, to be published in Ultra-Wideband, Short-Pulse Electromagnetics, Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- [8] [Resolución UIT-UWB.doc](#)
- [9] [FCC UWB allocation.doc](#)
- [10] Ultra Wide Band Activities Update Febrero 2004 - OFCOM (UK):[OFTEL UWB Update Regulacion.doc](#)
- [11] Ultra Wide Band. A Background Brief - Australian Communication Authority – Mayo 2003: [UWB ACA.doc](#)
- [12] Cuestión UIT-R 226/1 - Marco de gestión del espectro relativo a la introducción de los dispositivos de ultra banda ancha:[Cuestion UIT R226-1.doc](#)
- [13] CUESTIÓN UIT-R 227/1. COMPATIBILIDAD ENTRE LOS DISPOSITIVOS DE ULTRABANDA ANCHA Y LOS SERVICIOS DE RADIOCOMUNICACIÓN: [CUESTION UIT-R227-1.DOC](#)

### **Links Importantes**

- [ITU \(International Telecommunications Union\)](#)
- [ITU-R SG1, Task Group 1-8](#)
- [FCC \(Federal Communications Commission\)](#)
- [FCC, U.S. Task Group 1/8](#)
- [NTIA \(National Telecommunications Information Administration\)](#)
- [NTIA/ITS, UWB Signal Characterization Project](#)
- [IEEE \(The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.\)](#)
- [IEEE 802.15 \(IEEE 802.15 Working Group for WPANs\)](#)
- [ETSI \(European Telecommunications Standards Institute\)](#)
- [ERO \(European Radiocommunications Office\)](#)
- [CEPT \(European Conference of Postal and Telecommunications Administrations\)](#)
- [MPHPT \(Ministry of Public Management, Home Affairs, Posts and Telecommunications\) e](#)
- [ARIB \(Association of Radio Industries and Businesses\) e](#)
- [MMAC \(Multimedia Mobile Access Communication Systems Promotion Council\) e](#)
- [NICT \(National Institute of Information and Communications Technology\) aka CRL, UWB Technology Group e](#)

### **Links Misceláneos**

- [MIT, UWB Project](#)
- [USC, UltRa Lab](#)
- [UC Berkeley UWB Group](#)
- [Technische Universiteit Delft, AIRLINK](#)
- [UMASS, Antennas Laboratory](#)
- [Lawrence Livermore National Labs](#)

- [Rutgers University, WINLAB](#)
- [Harvard Broadband Communications Laboratory](#)
- [Ultra-Wideband Working Group](#)
- [PaloWireless](#)
- [Spread Spectrum Scene, UWB Pages](#)
- [Paris Ultra-wide Band \(PUB\) Systems](#)
- <http://www.multispectral.com>

## VI. ACRONIMOS

### A

|             |                               |
|-------------|-------------------------------|
| <b>AAS</b>  | Adaptive Antenna System       |
| <b>AGC</b>  | Automatic Gain Control        |
| <b>AWGN</b> | Additive White Gaussian Noise |

### B

|                 |                                                                           |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------|
| <b>Backbone</b> | Enlace de gran capacidad, típicamente de fibra óptica y microondas.       |
| <b>Backhaul</b> | Enlace inalámbrico de gran capacidad para respaldo de comunicaciones.     |
| <b>BER</b>      | Tasa de bits erróneos (Bit Error Rate).                                   |
| <b>B-FWA</b>    | Broadband Fixed Wireless Access o acceso inalámbrico fijo de banda ancha. |
| <b>BPSK</b>     | Binary Phase Shift Key                                                    |
| <b>Bridge</b>   | Dispositivo para conectar 2 segmentos de red LAN                          |
| <b>BS</b>       | Base Station                                                              |
| <b>BSN</b>      | Block Sequence Number                                                     |
| <b>BTS</b>      | Base Transceiver Station                                                  |
| <b>BW</b>       | Bandwidth                                                                 |
| <b>BWA</b>      | Broadband Wireless Access o acceso inalámbrico de banda ancha             |

### C

|                  |                                                                      |
|------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <b>CCI</b>       | Co-Channel Interference                                              |
| <b>CEPT</b>      | European Conference of Postal and Telecommunications Administrations |
| <b>CINR</b>      | Carrier to Noise and Interference Ratio                              |
| <b>CIR</b>       | Channel Impulse Response                                             |
| <b>CDMA</b>      | Code Division Multiple Access                                        |
| <b>CP</b>        | Cyclic Prefix                                                        |
| <b>CSCF</b>      | Centralized Scheduling Configuration                                 |
| <b>CSCH</b>      | Centralized Schedule                                                 |
| <b>CSM</b>       | Modo Común de Señalización                                           |
| <b>CSMA/CA</b>   | Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance                  |
| <b>100BASE-T</b> | Estándar de red que soporta transferencia de datos hasta 100 Mbps    |

### D

|                   |                                                         |
|-------------------|---------------------------------------------------------|
| <b>DARS</b>       | Digital Audio Radio Satellite                           |
| <b>Dark Fiber</b> | Se refiere a la Fibra Optica tendida pero no utilizada. |
| <b>Delay</b>      | Retardo ocasionado en la transmisión.                   |
| <b>DFS</b>        | Dynamic Frequency Selection                             |
| <b>DSCH</b>       | Distributed Schedule                                    |
| <b>DSL</b>        | Digital Subscriber Line                                 |

|                |                                                                                                                                                    |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>DS-UWB</b>  | UWB con Secuencia Directa                                                                                                                          |
| <b>DWDM</b>    | Dense Wavelength Division Multiplexing es una tecnología óptica usada para aumentar el ancho de banda sobre los backbone de fibra óptica existente |
| <b>E</b>       |                                                                                                                                                    |
| <b>EESS</b>    | Earth Exploratory Satellite Systems                                                                                                                |
| <b>EVM</b>     | Error Vector Magnitude                                                                                                                             |
| <b>ETSI</b>    | European Telecommunications Standards Institute                                                                                                    |
| <b>F</b>       |                                                                                                                                                    |
| <b>FCC</b>     | Federal Communications Commission                                                                                                                  |
| <b>FCH</b>     | Frame Control Header                                                                                                                               |
| <b>FDD</b>     | Frequency Division Duplex                                                                                                                          |
| <b>FDDI</b>    | Fiber Distributed Data Interface es un conjunto de protocolos ANSI para enviar datos digitales sobre un cable de fibra óptica.                     |
| <b>FDM</b>     | Multiplexación por División de Frecuencia                                                                                                          |
| <b>FEC</b>     | Forward Error Correction o código corrector de errores en la transmisión.                                                                          |
| <b>FFT</b>     | Fast Fourier Transform                                                                                                                             |
| <b>FSO</b>     | Free Space Optics                                                                                                                                  |
| <b>FSPL</b>    | Pérdidas de espacio libre.                                                                                                                         |
| <b>FSS</b>     | Fixed Satellite Service                                                                                                                            |
| <b>FWA</b>     | Fixed Wireless Access o Acceso fijo de banda ancha.                                                                                                |
| <b>G</b>       |                                                                                                                                                    |
| <b>GPS</b>     | Global Positioning Satellite                                                                                                                       |
| <b>GS</b>      | Guard Symbol                                                                                                                                       |
| <b>H</b>       |                                                                                                                                                    |
| <b>HFC</b>     | Hybrid Fiber Coax es una manera de entregar video, voz telefónica, datos, y otros servicios interactivos sobre cables coaxiales y fibra óptica.    |
| <b>H-FDD</b>   | half-duplex FDD                                                                                                                                    |
| <b>HANDOFF</b> | Procedimiento mediante el cual se pasa a un usuario de una estación base a otra, con el fin de ofrecer una mejor calidad de servicio.              |
| <b>HAPS</b>    | High-Altitude Platforms Station.                                                                                                                   |
| <b>HUMAN</b>   | High-Speed Unlicensed Metropolitan Area Network                                                                                                    |
| <b>I</b>       |                                                                                                                                                    |
| <b>I</b>       | Inphase                                                                                                                                            |
| <b>ICMP</b>    | Internet Control Message Protocol es una extension para el Protocolo de Internet (IP) definido por RFC 792.                                        |

|             |                                                                                                                                                                                       |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>IE</b>   | Information Element                                                                                                                                                                   |
| <b>IEEE</b> | The Institute of Electrical and Electronic Engineers                                                                                                                                  |
| <b>IGMP</b> | Internet Group Management Protocol es definido en RFC 1112 como el estándar para multicasting IP en Internet.                                                                         |
| <b>IIP3</b> | Input Intercept Point of Third Order                                                                                                                                                  |
| <b>IFFT</b> | Inverse Fast Fourier Transform                                                                                                                                                        |
| <b>IP</b>   | Protocolo Internet                                                                                                                                                                    |
| <b>ISDN</b> | Integrated Services Digital Network, un estándar internacional de comunicaciones para enviar voz, video, y datos sobre líneas telefónicas digitales o cables normales para telefonía. |

## **L**

|              |                                                             |
|--------------|-------------------------------------------------------------|
| <b>LASER</b> | Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation |
| <b>LMDS</b>  | Local Multipoint Distribution Services                      |
| <b>LOS</b>   | Line-of-Sight                                               |
| <b>LPI</b>   | Low Probability of Interception.                            |
| <b>LTI</b>   | Sistema Lineal Invariante en el Tiempo                      |

## **M**

|              |                                                                                                                                                     |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>MAC</b>   | Medium Access Control                                                                                                                               |
| <b>MAN</b>   | Metropolitan Area Network                                                                                                                           |
| <b>M-BOK</b> | Multiple Bi-Orthogonal Keying                                                                                                                       |
| <b>MPLS</b>  | Multiprotocol Label Switching, es una iniciativa IETF que integra la información de la capa 2 relacionada con los enlaces de red en la capa 3 (IP). |
| <b>MS</b>    | Mini-Slot                                                                                                                                           |
| <b>MSH</b>   | Mesh                                                                                                                                                |
| <b>MSSI</b>  | Multispectral Solutions, Inc                                                                                                                        |

## **N**

|             |                                                         |
|-------------|---------------------------------------------------------|
| <b>NCFG</b> | Network Configuration                                   |
| <b>NENT</b> | Network Entry                                           |
| <b>NLOS</b> | Non Line Of Sight                                       |
| <b>NTIA</b> | National Telecommunication & Information Administration |

## **O**

|                  |                                                                                                                     |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>OC</b>        | Short for Optical Carrier, usado para especificar la velocidad de las redes de fibra óptica para el estándar SONET. |
| <b>OFDM</b>      | Orthogonal Frequency Division Multiplexing                                                                          |
| <b>OFDMA</b>     | Orthogonal Frequency Division Multiple Access                                                                       |
| <b>OSI Model</b> | Open System Interconnection, es un estándar ISO de 7 capas para definir la operación de las redes.                  |

## **P**

|               |
|---------------|
| <b>Packet</b> |
|---------------|

|                  |                                                                                                         |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Switching</b> | Se refiere a los protocolos en los cuales los mensajes son divididos en paquetes antes de ser enviados. |
| <b>Payload</b>   | Información efectiva contenida dentro de una trama o contenedor.                                        |
| <b>PON</b>       | Passive Optical Network                                                                                 |
| <b>PHY</b>       | Physical Layer                                                                                          |
| <b>PMP</b>       | Point-to-Multipoint                                                                                     |
| <b>PPM</b>       | Modulación por Posición de Pulsos                                                                       |
| <b>PRBS</b>      | Pseudo Random Binary Sequence                                                                           |

|            |                                      |
|------------|--------------------------------------|
| <b>Q</b>   |                                      |
| <b>Q</b>   | Quadrature                           |
| <b>QAM</b> | Modulación en amplitud y cuadratura. |
| <b>QoS</b> | Calidad de servicio.                 |

|               |                                                  |
|---------------|--------------------------------------------------|
| <b>R</b>      |                                                  |
| <b>REQ</b>    | Request                                          |
| <b>RF</b>     | <b>Radiofrecuencia</b>                           |
| <b>RLAN</b>   | Radio Local Access Network                       |
| <b>RNG</b>    | Ranging                                          |
| <b>Router</b> | Dispositivo que puede conectar varias redes LAN. |
| <b>RSP</b>    | Response                                         |
| <b>RTG</b>    | Receive/Transmit Transition Gap                  |
| <b>RxDS</b>   | Receiver Delay Spread Clearing Interval          |

|              |                                                                                                                 |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>S</b>     |                                                                                                                 |
| <b>SAR</b>   | Synthetic Aperture Radar                                                                                        |
| <b>SC</b>    | Single Carrier                                                                                                  |
| <b>SDH</b>   | Synchronous Digital Hierarchy, estándar internacional para transmisión de datos sincrónicos sobre fibra óptica. |
| <b>SoHo</b>  | Small Office Home Office                                                                                        |
| <b>SLA</b>   | Service Level Agreement                                                                                         |
| <b>SONET</b> | Synchronous Optical Network, estándar internacional para transmisión de datos sincrónicos sobre fibra óptica.   |
| <b>SNR</b>   | Signal-to-Noise ratio                                                                                           |
| <b>SS</b>    | Subscriber Station                                                                                              |
| <b>SSTG</b>  | Subscriber Station Transition Gap                                                                               |
| <b>STC</b>   | Space-Time Codes                                                                                                |

|               |                                                 |
|---------------|-------------------------------------------------|
| <b>T</b>      |                                                 |
| <b>TCM</b>    | Trellis Coded Modulation                        |
| <b>TCP/IP</b> | Transmission Control Protocol/Internet Protocol |
| <b>TDD</b>    | Time Division Duplex                            |
| <b>TDM</b>    | Time-Division Multiplexed                       |
| <b>TDMA</b>   | Time-Division Multiple Access                   |
| <b>TTG</b>    | Transmit/Receive Transition Gap                 |



**U**

|              |                                                |
|--------------|------------------------------------------------|
| <b>UAV</b>   | Unmanned Aerial Vehicle.                       |
| <b>UTP</b>   | Unshielded Twisted Pair                        |
| <b>U-NII</b> | Unlicensed National Information Infrastructure |
| <b>UMTS</b>  | Universal Mobile Telecommunications System.    |
| <b>UW</b>    | Unique Word                                    |
| <b>UWB</b>   | Ultra Wideband                                 |

**V**

|              |                                         |
|--------------|-----------------------------------------|
| <b>VCSEL</b> | Vertical-cavity surface emitting lasers |
| <b>VLAN</b>  | Virtual LAN                             |
| <b>VPN</b>   | Virtual Private Network                 |

**W**

|              |                                                 |
|--------------|-------------------------------------------------|
| <b>WDM</b>   | Wavelength Division Multiplexing                |
| <b>WIMAX</b> | Worldwide Interoperability for Microwave Access |
| <b>WISP</b>  | Wireless Internet Service Provider              |
| <b>WPAN</b>  | Wireless Personal Area Networks                 |

## VII. ANEXOS

- Anexo 1. [New Wireless Band Plays For Bigger Broadband](#), 10 June 2004
- Anexo 2. [Comentarios Presidente del TWG WiMax - Forum WiMax](#).
- Anexo 3. [WiMAX\\_RegulatoryWorkingGroupAnnouncement\\_FINAL\\_05\\_28\\_04.pdf](#)
- Anexo 4. [IEEE 802.16 and WiMAX \(INTEL\).pdf](#)
- Anexo 5. Consultation Paper: Deployment of Wireless Broadband Technologies in Singapore: [WBA\\_Public\\_Consultation\\_020404\\_Singapur.pdf](#)
- Anexo 6. [WiMAX - Members\\_Regulatory\\_Final.pdf](#)
- Anexo 7. [WiMAX\\_Forum\\_Regulatory\\_Whitepaper\\_v06162004.pdf](#)
- Anexo 8. [WiMAX\\_WCA\\_Carrier\\_Regulatory\\_AWG\\_Final.pdf](#)
- Anexo 9. [www.ofcom.ch/imperia/md/content/english/funk/forschungundentwicklung/studien/FreeSpaceLaser.pdf](#).
- Anexo 10. [Free-Space-Optics.doc](#). <http://www.free-space-optics.org/>
- Anexo 11. [RESOLUCIÓN\\_122-CMR03-HAPS.doc](#)
- Anexo 12. [Resolución\\_221-CMR-03-HAPS.doc](#)
- Anexo 13. [RESOLUCIÓN-COM5\\_17-CMR-03-HAPS.doc](#)
- Anexo 14. [RESOLUCIÓN\\_734-CMR-03-HAPS.doc](#)
- Anexo 15. [Otros HAPS.pdf](#)
- Anexo 16. Operational and Technical Characteristics for a Terrestrial IMT-2000 System using High Altitude Platform Stations: [Doc\\_2\\_049E\\_3G\\_HAPS.pdf](#).
- Anexo 17. FCC. United States. Draft Preliminary Views on WRC-07: [DA-04-1698A1.doc](#).
- Anexo 18. [Resolución UIT-UWB.doc](#)
- Anexo 19. [FCC UWB\\_allocation.doc](#)
- Anexo 20. Ultra Wide Band Activities Update Febrero 2004 - OFCOM (UK): [OFTEL\\_UWB\\_Update\\_Regulacion.doc](#)
- Anexo 21. Ultra Wide Band. A Background Brief - Australian Communication Authority, Mayo 2003: [UWB\\_ACA.doc](#)
- Anexo 22. Cuestión UIT-R 226/1 - Marco de gestión del espectro relativo a la introducción de los dispositivos de ultra banda ancha: [Question UIT\\_R226-1.doc](#)
- Anexo 23. Cuestión UIT-R 227/1. Compatibilidad entre los Dispositivos de Ultrabanda Ancha y los Servicios de Radiocomunicación: [ANEXO\\_23\\_CUESTION UIT-R227-1.DOC](#).