

**PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACION DE MOVILIDAD SOBRE IPV6  
EN LA RED DE DATOS DE LA UNIVERSIDAD  
DEL CAUCA**



**JANETH PATRICIA CHACÓN MELO  
PASTOR OVIDIO BENAVIDES PIAMBA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES  
POPAYÁN  
2006**

**PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACION DE MOVILIDAD SOBRE IPV6  
EN LA RED DE DATOS DE LA UNIVERSIDAD  
DEL CAUCA**



**JANETH PATRICIA CHACÓN MELO  
PASTOR OVIDIO BENAVIDES PIAMBA**

**Trabajo de grado presentado como requisito para obtener el título de  
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**

**Director  
IE. MAG. FRANCISCO JAVIER TERÁN CUARÁN**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES  
POPAYÁN  
2006**

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>1. MOVILIDAD .....</b>	<b>1</b>
1.1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.2. MOVILIDAD: CONCEPTO E INICIOS .....	1
1.2.1. Internet inalámbrico.....	2
1.2.2. Mobile internet.....	2
1.3. TIPOS DE MOVILIDAD .....	3
1.3.1. Movilidad de usuario .....	3
1.3.2. Movilidad de servicios .....	3
1.3.3. Movilidad de sesión.....	4
1.3.4. Movilidad de terminal .....	4
1.3.5. Micro-movilidad y Macro-movilidad.....	4
1.3.6. Portabilidad .....	4
1.3.7. Movilidad continua.....	5
1.4. PERSPECTIVAS DE LA MOVILIDAD .....	5
1.4.1. Ventajas de la movilidad.....	5
1.4.2. Desventajas de la movilidad.....	6
1.5. DESARROLLO DE LA MOVILIDAD A NIVEL MUNDIAL.....	8
1.5.1. Japón .....	8
1.5.2. Estados Unidos .....	8
1.5.3. Situación en Latinoamérica .....	9
1.5.4. Colombia.....	10
<b>2. MOVILIDAD SOBRE IPv6 .....</b>	<b>12</b>
2.1. INTRODUCCION .....	12
2.2. VISION GENERAL DE MIPV6.....	12
2.2.1. Componentes de MIPV6 .....	13
2.2.2. Transparencia de la capa de transporte del IPv6 Móvil .....	15

2.2.3.	Ventajas de IPv6 Móvil frente a IPv4 Móvil.....	16
2.3.	OPCIONES Y MENSAJES DEL MIPV6 .....	17
2.3.1.	Cabeceras y Mensajes de movilidad .....	17
2.3.2.	Cabecera de Enrutamiento de Tipo 2.....	21
2.3.3.	Opción de dirección local para la cabecera de opciones de destino (Home Address Option for the Destination Options Header).....	22
2.3.4.	Mensajes ICMPv6 para MIPv6 .....	23
2.3.5.	Modificaciones a los mensajes y las opciones de descubrimiento de vecinos .....	26
2.4.	ESTRUCTURAS DE DATOS DE MIPV6.....	29
2.4.1.	Cache de asociaciones .....	29
2.4.2.	Lista de Actualizaciones De asociación.....	30
2.4.3.	Lista de agentes locales .....	31
2.5.	REGISTRO DE CORRESPONDENCIA .....	32
2.5.1.	Procedimiento de prueba de enrutabilidad (Return Routability Procedure).....	34
2.5.2.	Detectando nodos correspondientes que no soportan mipv6 .....	35
2.6.	INTERCAMBIO DE MENSAJES EN MIPV6.....	36
2.6.1.	Intercambio de datos entre un nodo móvil y un nodo correspondiente .....	36
2.6.2.	Mantenimiento de asociaciones (Binding Maintenance) .....	44
2.6.3.	Descubrimiento de Agentes Locales .....	49
2.6.4.	Descubrimiento de Prefijos MOviles.....	51
2.7.	PROCESOS DE MIPV6 .....	53
2.7.1.	Formando parte del enlace local .....	54
2.7.2.	Desplazándose desde el enlace local a un enlace foráneo .....	55
2.7.3.	Trasladándose a otro enlace foráneo .....	65
2.7.4.	Regresando al lugar de origen .....	68
2.8.	EXTENSIONES DE MIPV6 .....	70
<b>3.</b>	<b>TECNOLOGIAS QUE SOPORTAN MOVILIDAD SOBRE IPv6.....</b>	<b>72</b>
3.1.	INTRODUCCION .....	72
3.2.	GENERALIDADES DE LAS TECNOLOGIAS INALAMBRICAS.....	72
3.3.	IPV6 EN LAS TECNOLOGIAS INALÁMBRICAS.....	74
3.3.1.	Handover en WLAN/IPv6 .....	75

3.3.2.	Tecnologías inalámbricas que soportan IPv6 .....	76
3.4.	IPv6 EN LAS REDES CELULARES ACTUALES.....	78
3.4.1.	IP en las 3G .....	78
3.4.2.	IP Móvil en los grupos 3G .....	80
3.4.3.	Stack de protocolos de 3G con el IPv6.....	82
3.4.4.	Modelos de arquitecturas para 3GPP Y 3GGP2 con ALL IP .....	83
3.5.	PROYECTOS Y GRUPOS DE TRABAJO.....	85
3.5.1.	Grupos de trabajo.....	85
3.5.2.	Proyectos .....	85
3.6.	LA 4G, NGN O UBICUIDAD COMO OBJETIVO FINAL.....	88
<b>4.</b>	<b>CRITERIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y DISEÑO DE LAS PROPUESTAS .....</b>	<b>90</b>
4.1.	INTRODUCCIÓN .....	90
4.2.	ASPECTOS IMPORTANTES PARA LA PLANEACION Y DISEÑO DE LAS PROPUESTAS.....	91
4.2.1.	Estratégico .....	91
4.2.2.	Criterios.....	91
4.3.	ESTUDIO PRELIMINAR.....	93
4.3.1.	Análisis del entorno .....	93
4.3.2.	Características lógicas e infraestructura existente.....	94
4.3.3.	Análisis de interferencia .....	96
4.3.4.	Comportamiento de los potenciales usuarios .....	96
4.4.	DEFINICION DE LA TECNOLOGIA A USAR PARA LA IMPLEMENTACION .....	97
4.4.1.	Tecnologías celulares frente al perfil del proyecto.....	97
4.4.2.	Tecnologías en espectro no licenciado frente al perfil del proyecto .....	98
4.4.3.	Ventajas y desventajas de cada una de las tecnologías frente al perfil del proyecto.....	99
4.4.4.	Justificación de la tecnología.....	100
4.5.	INTERCONEXION DE LOS DIFERENTES DISPOSITIVOS INALAMBRICOS DESDE EL USUARIO HASTA LA RED CABLEADA .....	100
4.5.1.	Descripción de la red de acceso.....	101
4.5.2.	Capacidad y número de usuarios .....	107
4.5.3.	Zona afectada o cobertura .....	107

<b>5.</b>	<b>PROPUESTAS PARA LA IMPLEMENTACION DE MOVILIDAD SOBRE IPv6 EN LA RED DE DATOS DE LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA.....</b>	<b>108</b>
5.1.	INTRODUCCIÓN .....	108
5.2.	PROPUESTAS PARA LA IMPLEMENTACION DE MOVILIDAD SOBRE IPv6 EN LA RED DE DATOS DE LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA.....	108
5.2.1.	Plan de numeración para la red MIPv6 de la R.D.U.C.....	109
5.2.2.	Propuesta No 1 .....	111
5.2.3.	Propuesta No 2 .....	124
5.3.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS PROPUESTAS PLANTEADAS.....	132
5.3.1.	Ventajas de la propuesta No 1 .....	132
5.3.2.	Desventajas de la propuesta No 1.....	132
5.3.3.	Ventajas de la propuesta No 2 .....	132
5.3.4.	Desventajas de la propuesta No 2.....	133
5.4.	JUSTIFICACION DE LA PROPUESTA DE DISEÑO.....	134
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>135</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>136</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>137</b>

## **ANEXOS**

ANEXO A: TERMINOLOGIA RELACIONADA CON MOVILIDAD-RFC 3753

ANEXO B: LAS EXTENSIONES DE MIPv6 Y SUS MENSAJES

ANEXO C: ESTANDARIZACION RELACIONADA CON MOVILIDAD

ANEXO D: ANALISIS FINANCIERO DE LAS PROPUESTAS DE DISEÑO

ANEXO E: SERVICIOS SOBRE LAS REDES MÓVILES

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 2. 1: Componentes de IPv6 Móvil .....	13
Figura 2. 2: Estructura de la cabecera de extensión de movilidad.....	18
Figura 2. 3: Estructura de la nueva Cabecera de Enrutamiento de Tipo 2 .....	21
Figura 2. 4: Estructura de la opción de dirección local de destino (Home Address destination option) .....	22
Figura 2. 5: Estructura del mensaje ICMPv6 de solicitud de descubrimiento de dirección del agente local .....	24
Figura 2. 6: Estructura del mensaje ICMPv6 de respuesta a la solicitud de descubrimiento de dirección del agente local.....	24
Figura 2. 7: Estructura del mensaje ICMPv6 de solicitud de prefijos móviles .....	25
Figura 2. 8: Estructura del mensaje ICMPv6 de anuncio de prefijos móviles.....	25
Figura 2. 9: Estructura del mensaje de anuncio de enrutadores modificado .....	27
Figura 2. 10: Estructura de la opción de Información de prefijo modificada.....	27
Figura 2. 11: Estructura de la Opción de intervalo de anuncios.....	28
Figura 2. 12: Estructura de la opción de información del agente local.....	29
Figura 2. 13: Procedimiento de prueba de enrutabilidad .....	35
Figura 2. 14. El nodo correspondiente enviando paquetes a la dirección local del nodo móvil .....	37
Figura 2. 15: El agente local intercepta un paquete y lo redirige hacia el nodo móvil.....	38
Figura 2. 16. El nodo móvil envía los paquetes por medio del agente local .....	39
Figura 2. 17: El agente local redirige los paquetes hacia el nodo correspondiente .....	40
Figura 2. 18: Un nodo móvil envía paquetes directamente a un nodo correspondiente....	41
Figura 2. 19: Un nodo correspondiente envía paquetes cuando tiene registrada la dirección local del nodo móvil en su caché de asociaciones .....	43
Figura 2. 20: Mensajes de actualización de asociación enviados desde el nodo móvil al agente local .....	44
Figura 2. 21: Los mensajes de Mantenimiento de asociaciones que se envían desde el agente local hacia el nodo móvil.....	46
Figura 2. 22: Mensajes de actualización de asociación enviados desde un nodo móvil hacia el nodo correspondiente.....	47
Figura 2. 23: Los mensajes de mantenimiento de asociaciones que se pueden enviar desde un nodo correspondiente hacia un nodo móvil.....	48
Figura 2. 24: Un nodo móvil envía un mensaje ICMPv6 de Solicitud de descubrimiento de dirección del agente local.....	50

Figura 2. 25: Un agente local envía un mensaje ICMPv6 de Respuesta a la solicitud de descubrimiento de dirección del agente local .....	50
Figura 2. 26: Un nodo móvil envía un mensaje ICMPv6 de solicitud de prefijos móviles. ....	51
Figura 2. 27: Un agente local envía un mensaje ICMPv6 de anuncio de prefijos móviles .....	53
Figura 2. 28: Nodo móvil formando parte del primer enlace foráneo .....	58
Figura 2. 29: Inicio de una nueva conexión TCP entre el nodo móvil y un nuevo nodo correspondiente .....	59
Figura 2. 30: Un nuevo nodo correspondiente se comunica con un nodo móvil.....	61
Figura 2. 31: Un nodo en el enlace local se comunica con un nodo móvil.....	63
Figura 2. 32: Un nodo móvil cambia su dirección local.....	65
Figura 2. 33: Un Nodo Móvil se conecta a un nuevo Enlace Foráneo .....	67
Figura 2. 34: Un nodo móvil regresando al lugar de origen.....	70
Figura 3. 1: Handover Vertical .....	74
Figura 3. 2: MIPv6 y las redes inalámbricas.....	75
Figura 3. 3. Handover en WLAN/IPv6 .....	75
Figura 3. 4: Integración de las tecnologías inalámbricas con el protocolo IPv6, teniendo en cuenta la seguridad.....	76
Figura 3. 5: Soporte de Movilidad de IPv6 .....	77
Figura 3. 6: Integración a nivel de infraestructura el protocolo IPv6 dentro de las tecnologías 3G. ....	79
Figura 3. 7: Cooperación IPMovil v4/v6.....	80
Figura 3. 8: Modelos 3GPP y 3GPP2 e IPMovil v6.....	81
Figura 3. 9: El soporte de lpv6 en el nivel de usuario fue totalmente introducido en el release 99 del 3GPP .....	83
Figura 3. 10: Modelo 3GPP2 y la arquitectura All-IP .....	84
Figura 3. 11: Modelo 3GPP y la arquitectura All-IP .....	84
Figura 4. 1: Estructura de interconexión de nodos inalámbricos .....	101
Figura 4. 2: Nodo de acceso (NA) aislado.....	102
Figura 4. 3: Dispositivos en la solución inalámbrica .....	106

Figura 5. 1: Zonas iluminadas en el Piso 1 de la Facultad de Ciencias de la Salud .....	113
Figura 5. 2: Zonas iluminadas en el Piso 2 de la Facultad de Ciencias de la Salud .....	113
Figura 5. 3: Zonas iluminadas en el Piso 3 de la Facultad de Ciencias de la Salud .....	114
Figura 5. 4: Zonas iluminadas en el Sector de Tulcán.....	115
Figura 5. 5: Zonas iluminadas en el Sector de Ingenierías y Física.....	116
Figura 5. 6: Zonas iluminadas en el Sector del nuevo edificio Ciencias Contables .....	117
Figura 5. 7: Zonas iluminadas en el Sector de Educación.....	118
Figura 5. 8: Zonas iluminadas en el Museo Natural .....	119
Figura 5. 9: Zonas iluminadas en El Carmen .....	120
Figura 5. 10: Zonas iluminadas en Santo Domingo.....	121
Figura 5. 11: Zonas iluminadas en la Facultad de Artes.....	122
Figura 5. 12: Zonas iluminadas en el sector de Las Guacas .....	123
Figura 5. 13: Zonas iluminadas para la Facultad de Ciencias de la Salud.....	126
Figura 5. 14: Zonas iluminadas para el Sector de Educación.....	128
Figura 5. 15: Zonas iluminadas para el Sector Tulcán, Ingenierías y Educación.....	129
Figura 5. 16: Zonas iluminadas para el Museo Natural .....	129
Figura 5. 17: Zonas iluminadas a través de los edificios particulares .....	131

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 3. 1: Resumen de tecnologías inalámbricas de acceso por área cubierta .....	78
Tabla 4. 1: Características de la zona objetivo.....	95
Tabla 4. 2: S.O.M.....	104
Tabla 5. 1: Direccionamiento IPv6 de múltiples niveles para Unicauca .....	110
Tabla 5. 2: Direccionamiento IPv6 de múltiples niveles para Ingenierías .....	110
Tabla 5. 3: Distribución de dispositivos en el piso 1 de la Facultad de Ciencias de Salud.....	112
Tabla 5. 4: Distribución de dispositivos en el piso 2 de la Facultad de Ciencias de la Salud.....	112
Tabla 5. 5: Distribución de dispositivos en el piso 3 de la Facultad de Ciencias de la Salud.....	114
Tabla 5. 6: Total de dispositivos en la Facultad de Ciencias de la Salud.....	114
Tabla 5. 7: Distribución de dispositivos en el sector de Tulcán.....	115
Tabla 5. 8: Distribución de dispositivos en el Sector Ingenierías y Física.....	116
Tabla 5. 9: Total de dispositivos en el Sector edificio nuevo Facultad de Ciencias Contables.....	117
Tabla 5. 10: Distribución de dispositivos en el Sector de Educación .....	118
Tabla 5. 11: Total de dispositivos Sector de Tulcán, Ingenierías y Educación.....	119
Tabla 5. 12: Total de dispositivos en el Museo Natural .....	119
Tabla 5. 13: Total de dispositivos en el Carmen.....	120
Tabla 5. 14: Total de dispositivos en Santo Domingo.....	121
Tabla 5. 15: Total de dispositivos en Casa Caldas.....	122
Tabla 5. 16: Total de dispositivos en Artes.....	122
Tabla 5. 17: Total de dispositivos en la Zona céntrica de la ciudad.....	123
Tabla 5. 18: Total de dispositivos en el Sector de Las Guacas .....	123
Tabla 5. 19: Total de dispositivos en el Sector de las Guacas .....	124
Tabla 5. 20: Total de dispositivos para la Propuesta No 1.....	124
Tabla 5. 21: Total de dispositivos adicionales en La Facultad de Ciencias de la Salud..	125
Tabla 5. 22: Total de dispositivos adicionales en el Sector de Tulcán .....	126

Tabla 5. 23: Total de dispositivos adicionales en el Sector de Educación.....	127
Tabla 5. 24: Total de dispositivos adicionales en Museo Natural .....	129
Tabla 5. 25: Total de dispositivos adicionales en el Sector de El Carmen.....	129
Tabla 5. 26: Total de dispositivos adicionales en la Facultad de Artes .....	130
Tabla 5. 27: Total de dispositivos adicionales en los edificios particulares.....	130
Tabla 5. 28: Total de dispositivos adicionales para la Propuesta 2 .....	130
Tabla 5. 29: Total de dispositivos para la Propuesta No 2.....	131

## ACRÓNIMOS

<b>3GPP</b>	3rd Generation Partnership Project. Foro liderado por ETSI, normaliza el UMTS.
<b>3GPP2</b>	3rd Generation Partnership Project 2. Foro liderado por TTA, normaliza el cdma2000.
<b>6INIT</b>	The IPv6 Internet Initiative.
<b>6WINIT</b>	IPv6 Wireless Internet Initiative.
<b>ANSI-41</b>	Red troncal (core network) de los sistemas americanos.
<b>AQUILA</b>	Adaptive resource control for QoS Using an IP-based Layered Architecture.
<b>ATM</b>	Asynchronous Transfer Mode.
<b>BRAIN</b>	Broadband Radio Access for IP based Networks.
<b>CCK</b>	Complementary Code Keyin.
<b>CDMA</b>	Code Division Multiple Access. Técnica de acceso por división de código.
<b>CDMA2000</b>	Sistema 3G estandarizado por 3GPP2. Basado y retrocompatible con IS-95.
<b>CM</b>	Connection Management.
<b>DAIDALOS</b>	Designing Advanced network Interfaces for the Delivery and Administration of Location independent, Optimised personal Services.
<b>DECT</b>	Digital Enhanced Cordless Telecommunications.
<b>DRS</b>	Dynamic Rate Shifting.
<b>Drive</b>	Dynamic Radio for IP-Services in Vehicular Environments.
<b>DSL</b>	Dynamic Security Link.
<b>EDGE</b>	Enhanced Data Rate for GSM/Global Evolution. Consiste fundamentalmente en introducir la modulación 8-PSK sobre portadoras de 200 Khz. para llegar a tasas de 348 Kbit/s.
<b>ETSI</b>	European Telecommunications Standards Institute.
<b>FDD</b>	Frequency Division Duplex. División de Frecuencia Modo dúplex en el que cada sentido ocupa distinta bandas de frecuencias (bandas apareadas).

<b>FDD DS</b>	FDD Direct Spread.
<b>FDD MC</b>	FDD Multi Carrier.
<b>FPLMTS</b>	Future Public Land Mobile Telecommunications System.
<b>GCAP</b>	Global Communication Architecture and Protocols for new QoS services over IPv6 networks.
<b>GPRS</b>	General Packet Radio Service.
<b>GPRS-136</b>	GPRS adaptado a UWC-136.
<b>GSM MAP</b>	GSM Mobile Application Part. Es la red troncal del sistema GSM.
<b>HRFWG</b>	Home RF Working Group.
<b>Home RF</b>	Home RadioFrecuency.
<b>ID interfaz.</b>	Identificador de la interfaz (64 bits)
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers.
<b>IMS</b>	Subsistema de IP Multimedia.
<b>IPSec</b>	Internet Protocol Security.
<b>IMT-2000</b>	International Mobile Telecommunications 2000. Nombre del conjunto de estándares de 3G que cumplen los requisitos impuestos por la ITU. Son el UMTS FDD y TDD, el cdma2000, el UWC-136, el DECT y la componente de satélite.
<b>IS-136</b>	Sistema americano 2G basado en TDMA. También se conoce como TDMA.
<b>IS-95 A/B</b>	Sistema americano 2G basado en CDMA. También se conoce como cdmaOne o CDMA.
<b>LAN</b>	Local Area Network.
<b>LONG</b>	Laboratories Over Next Generation networks.
<b>MAN</b>	Metropolitan Area Network.
<b>MAC</b>	Media Access Control.
<b>MBWA</b>	Mobile Broadband Wireless Access.
<b>MIMO</b>	Multiple Input Multiple Output tecnología de antena.
<b>MM</b>	Mobility Management.

<b>MOBY DICK</b>	Mobility and Differentiated Services in a Future IP Network.
<b>NAs</b>	Nodos de acceso.
<b>NETGATE</b>	Advanced Network Adapter for the new Generation of mobile and IP based Networks.
<b>NLA ID</b>	Identificador de agregación de siguiente nivel (24 bits).
<b>OFDM</b>	Orthogonal Frequency Division Multiplexing.
<b>OSA</b>	Open Service Architecture
<b>PAN</b>	Personal Area Network.
<b>PCS</b>	Personal Communication System. Sistemas celulares americanos (IS-136 y IS-95) que operan en la banda de frecuencias del mismo nombre (1900 MHz).
<b>PDSN</b>	Packet Data Serving Node en cdma2000.
<b>QVPN50</b>	Paquete de software para configuración de clientes VPN basadas en el router Wireless-G VPN de Linksys y en plataformas Windows 2000 y XP.
<b>RADIUS</b>	Remote Authenticated Dial-In User Service.
<b>R.D.U.C.</b>	Red de Datos de la Universidad del Cauca.
<b>RTT</b>	Radio Transmission Technology.
<b>SEQUIN</b>	Service Quality across Independently managed Networks.
<b>SLA ID</b>	Identificador de agregación de nivel del sitio (16 bits).
<b>SSID</b>	Service Set Identifier.
<b>SUITED</b>	Multi-Segment System for Broadband Ubiquitous Access to Internet Services and Demonstrator.
<b>SWAP</b>	Shared Wireless Access Protocol
<b>SYNC</b>	Grupo de Tarea y Sincronización.
<b>TD-CDMA</b>	Time Division-CDMA.
<b>TDD</b>	Time Division Duplex. Modo dúplex en el que cada sentido ocupa distintos intervalos de tiempo dentro de la misma banda de frecuencias (banda no pareada).
<b>TDMA</b>	Time Division Multiple Access. Técnica de acceso por división en el tiempo.

<b>U.C.</b>	Universidad del Cauca.
<b>UMTS</b>	Universal Mobile Telecommunications System. Sistema de tercera generación propuesto por ETSI y estandarizado en el 3GPP.
<b>UTRA (N)</b>	UMTS Terrestrial Radio Access (Network). El acceso radio (la red de) de UMTS.
<b>UWCC</b>	Universal Wireless Communications Consortium. Organización que junto a la TIA promueve y estandariza el UWC-136.
<b>UWC-136</b>	Universal Wireless Communications 136. Sistema de tercera generación basado en la evolución del sistema IS-136.
<b>WAN</b>	Wide Area Network.
<b>WAP.</b>	Protocolo de Aplicaciones Inalámbricas
<b>WCDMA</b>	Wideband CDMA
<b>WECA</b>	Wireless Ethernet Compatibility Alliance.
<b>WINE</b>	Wireless Internet Netowrks.
<b>WINE GLASS</b>	Wireless IP Network as a Generic Platform for Location Aware Service Support.
<b>WiMAX</b>	Worldwide Interoperability for Microware Access.
<b>WPAN</b>	Wireless Personal Area Network.
<b>WRC</b>	World Radiocommunication Conference. Conferencia de la ITU que identifica y define el uso del espectro radioeléctrico.
<b>WWiSE</b>	Espectro de Eficacia Mundial.

Es importante, recalcar la importancia del ANEXO A: Terminología relacionada con movilidad-RFC 3753

### 1. MOVILIDAD

#### 1.1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años el avance tecnológico ha permitido una gran cantidad de implementaciones en el reducido espacio reservado a los criterios de la codificación vocal y el procesamiento digital, los cuales ya eran conocidos teóricamente pero probaban ser de difícil realización con las técnicas antiguas de implementación, debido al elevado número de componentes involucrados en el proceso.

En la actualidad, se han desarrollado una variedad de soluciones basadas en sistemas radioeléctricos que se sintetizarán de manera muy general teniendo en cuenta aspectos de vanguardia en las áreas de la tecnología, mercadeo y tendencias actuales, resaltando que lo que en el presente se considera como emergente, en un futuro próximo ya habrá adquirido un carácter de madurez de trabajo, además, existirán situaciones en las que las tecnologías como tal no alcanzarán a abrirse paso en el mercado, ya que la vertiginosa evolución del mundo tecnológico los habrá dejado atrás antes de empezar.

A continuación se presentará una visión general de la temática propuesta, la cuál permite hacer una aproximación a los conceptos más importantes relacionados con la Movilidad y su incidencia en el mundo actual.

Se iniciará con el concepto de movilidad, luego se tratará los tipos de movilidad y finalmente se analizarán las áreas de mercado y tendencias.

#### 1.2. MOVILIDAD: CONCEPTO E INICIOS

En el comienzo de las telecomunicaciones uno de los hechos que ayudó a consolidar su importancia fue el poder prestar una serie de servicios afines a la misma. Aunque inicialmente estos servicios trabajaban punto a punto, estaban centrados alrededor de la transmisión de voz, un concepto que, junto al resto de las telecomunicaciones, alcanzaría una demanda de continuo crecimiento con el pasar de los años. Fue precisamente el auge en las comunicaciones lo que motivó a que se produjeran avances en este campo hasta que la transmisión de voz logró liberarse de las redes fijas y pudo evolucionar hacia los sistemas móviles, naciendo así un nuevo concepto: la movilidad en la prestación del servicio de telefonía.

Bajo esta nueva línea de comunicación, el usuario podía, con cierto grado de limitación, suplirse del servicio en cualquier lugar y en cualquier momento de manera transparente y es a partir de esta última característica que nace el concepto de movilidad, cuya definición se centra en que un usuario puede, mediante el uso de un dispositivo, acceder a un número de servicios en cualquier momento y lugar de manera transparente para sí mismo, en donde la cantidad, utilidad, potencia y tipo de servicios que se puedan prestar dependerá del nivel tecnológico que tenga el dispositivo y la red de transmisión.

Con base en lo anterior, se puede hablar de tecnologías que han permitido esa movilidad y de como han evolucionado, teniendo en cuenta tanto el Hardware y el Software como la optimización del espectro radioeléctrico, el cual juega un papel muy importante en este nuevo concepto, dado que dentro de si, contiene una serie de técnicas como son la codificación, modulación, encriptación y el uso de las bandas de frecuencia. Debido a la enorme variedad de avances en este tipo de tecnología, tratarlos todos aquí se alejaría del propósito del proyecto, así solo se referirán aquellos que realmente se acomoden a los objetivos del mismo.

### **1.2.1. Internet inalámbrico**

Como su nombre lo indica, el Internet Inalámbrico es la opción de acceder a Internet sin la necesidad de una conexión a través de cables. La señal necesaria para acceder a Internet se emite y se recibe a través de una banda de frecuencia, según la plataforma que sea escogida para emitir la señal. Comúnmente se transmite la señal a través de bandas libres (por ejemplo, redes inalámbricas para computadores portátiles o para agendas electrónicas) o bandas que implican el uso del espectro electromagnético, para las cuales es necesario una licencia debido al carácter de recurso limitado que tiene el espectro, tales como las utilizadas por los teléfonos móviles de 2<sup>a</sup>, 2.5<sup>a</sup> y 3<sup>a</sup> generación.

Este servicio de Internet Inalámbrico ya se presta en el mundo, por ejemplo en Estados Unidos este servicio se ha prestado con éxito; en el caso de los Cafés Starbucks, en el Parque Bryant de Nueva York, aeropuertos universidades y hoteles, entre otros

Para el Internet Inalámbrico se ha desarrollado el protocolo WIFI (Wireless Fidelity), "tecnología mediante la que se pueden crear redes inalámbricas de alta velocidad, capaces de cubrir áreas de varios cientos de metros".

El Internet Inalámbrico contiene los estándares y recomendaciones generales necesarios para proveer el servicio, y además a partir de este protocolo se han desarrollado varias tecnologías tales como; Bluetooth, 802.11, 802.11b, 802.11a, 802.11g Hyperlan entre otras.

### **1.2.2. Mobile Internet**

Nombre comúnmente utilizado para la convergencia de dos tecnologías, Telefonía Móvil e Internet. Aunque el Mobile Internet utiliza la misma tecnología que el Internet Fijo, es distinto a este ya que se espera que sea usado de una manera nueva e inesperada. El Mobile Internet va a estar concentrado en enviar y recibir rápidamente paquetes de información relevante o solicitada por el usuario.

La telefonía móvil ha tenido distintos grados de evolución, y a estas etapas se les ha denominado generaciones. Los primeros teléfonos móviles pertenecían a la primera generación 1G los cuales funcionaban con tecnología analógica. Posteriormente, con la tecnología digital CDMA (Code Division Multiple Access), TDMA (Time Division Multiple Access), GSM (Global System for Mobile Communication), PDC (Personal Digital Communications) luego vinieron los móviles de segunda generación 2G, y con la tecnología digital se empezaron a mandar mensajes de texto. Los teléfonos de segunda generación tuvieron una actualización tecnológica 2.5 que aumentó la capacidad de estos

teléfonos para enviar información a una mayor velocidad, así como la posibilidad de tener una facturación basada en volumen y no en minutos.

Actualmente, se está a la expectativa de la migración a los teléfonos móviles de tercera generación 3G, los cuales ofrecen mayor velocidad, transmisión de datos e información más compleja como videocomunicaciones, acceso completo a Internet, capacidad para proveer servicios a usuarios al mismo tiempo, todo esto independientemente de la localización del usuario.

Comercialmente, entre los Protocolos WIFI, la tecnología 802.11b es la que está predominando, a pesar de esto tiene un gran competidor en la Telefonía Móvil, por lo tanto es difícil saber qué tecnología predominará, puesto que cada una tiene su mercado y tipo de usuarios. Por eso, no pareciera al menos a corto plazo, que una tecnología vaya a suplir a la otra, simplemente el mercado dará espacio para el Internet Inalámbrico a través de portátiles, agendas electrónicas (América) y teléfonos móviles (Europa y Asia), incluso los servicios se completarán entre sí. Así por ejemplo, mientras exista cobertura WIFI se accederá a Internet a través de WIFI, pero cuando alguien esté fuera de esa cobertura podrá usar su teléfono móvil para acceder a Internet y para hacer llamadas telefónicas.

Como consecuencia de lo anterior, se puede concluir que las diferentes tecnologías, plataformas y dispositivos para acceder al Internet Inalámbrico están llamados a complementarse en lugar de sustituirse.

### **1.3. TIPOS DE MOVILIDAD**

#### **1.3.1. Movilidad de usuario**

Sucede cuando toda la información correspondiente a un usuario, lo que también se conoce como perfil, reposa en una base de datos, la cuál está disponible para responder a todos los requerimientos del usuario en cualquier momento y lugar, para todo tipo de dispositivos móviles que cumplan con ciertas especificaciones presentadas ya sea por proveedores de servicios, fabricantes de dispositivos o estándares internacionales. Mediante el uso de estas bases de datos los proveedores de servicios permiten a los usuarios acceder a servicios con independencia de terminales y redes ya que el usuario puede obtener el servicio que necesita desde cualquier red en cualquier sitio y usar diferentes dispositivos manteniendo siempre la misma personalidad de cara al sistema, es decir, utilizando la información guardada en su perfil.

#### **1.3.2. Movilidad de servicios**

Este tipo de movilidad sucede cuando el tipo y calidad de servicios prestados no cambian aunque provengan de distintos operadores, estandarizando así los servicios y haciéndolos totalmente transparentes ante el usuario final. La idea es facilitar el cambio de locaciones de trabajo al asegurar que sin importar las circunstancias, las tareas a realizar serán comunes al usuario final. Este proceso permite, mediante el traslado de la información de configuración de servicios, que la forma y la apariencia con que se presentan no cambien

a la hora de acceder a ellos, logrando así una funcionalidad y un aspecto idéntico para cualquier lugar de acceso, tipo de operador, tipo de servicio y usuario.

### **1.3.3. Movilidad de sesión**

Ideada con fines de seguridad, este tipo de movilidad ocurre cuando se quiere mover la cuenta de un usuario activa (sesión) desde un dispositivo hasta otro. Con este tipo de movilidad, se presenta la facilidad de continuar trabajando en una máquina más poderosa que la que se estaba utilizando, a la vez que se preserva cualquier tipo de configuración, permisos y limitaciones que el usuario haya tenido en el dispositivo de origen.

### **1.3.4. Movilidad de terminal**

Sucede cuando un terminal cambia de localización manteniendo toda la funcionalidad de sus servicios. Este tipo de aplicación supera de manera idónea el concepto de Portabilidad (la cual Interrumpe las comunicaciones durante el movimiento y restablece la comunicación en la nueva localización) y se conecta con el concepto de Movilidad continua la cual asegura que las conexiones activas no se interrumpen mientras el terminal cambia de posición.

### **1.3.5. Micro-movilidad y Macro-movilidad**

La Micro-Movilidad se encarga de separar la movilidad local o interna a una célula de comunicación de la movilidad externa entre distintas células, mediante tres capas de protocolos de movilidad: la capa L2 (802.11, 3G RAN), la capa micro (para movilidad local) y la capa macro (para movilidad externa).

Los objetivos del diseño de la Micro-Movilidad son:

- *Escalabilidad:* Procesa las actualizaciones localmente.
- *Salto de límites:* Envía paquetes adelantados si es necesario.
- *Eficiencia:* Evita el tunelaje cuando es posible.
- *Confiabilidad:* Implementa mecanismos de detección de fallos en protocolos de enrutamiento.
- *Transparencia:* Resguarda al dispositivo móvil receptor de impactos producidos por transmisión de datos y cambios de locaciones.

### **1.3.6. Portabilidad**

Interrumpe las comunicaciones durante el movimiento y restablece la comunicación en la nueva localización

### 1.3.7. Movilidad continua

Asegura que las conexiones activas no se interrumpan mientras el terminal cambia de posición.

Para que se cumpla la Movilidad continua deben cumplirse las siguientes condiciones:

- No deben existir limitaciones geográficas para el cubrimiento.
- El terminal puede trabajar en cualquier parte.
- Los servicios son independientes de la tecnología de la red.
- La conexión es automática en cualquier localización.
- Permite comunicación con otros nodos que no implementan movilidad.
- Se comunica con cualquier nodo de red.
- No tiene efecto a nivel de aplicación.
- No modifica el direccionamiento estándar.
- Es seguro.
- Realiza las funciones de movilidad en cualquier localización.
- Puede intercambiar información protegida.

## 1.4. PERSPECTIVAS DE LA MOVILIDAD

### 1.4.1. Ventajas de la movilidad

Los beneficios que acarrearán este tipo de redes son muy grandes e interesantes solo hay que dejar correr la imaginación y pensar que el día de mañana se podrá leer el correo desde lugares de difícil acceso, se podrá hablar por teléfono con el vecino usando IP, se podrán unir redes de diferentes proyectos u ONG's... y todo esto gratis, sin pagar las tarifas abusivas con las que vendrán otras tecnologías como GPRS o UMTS. Se podría seguir diciendo mil y una aplicaciones más pero la caja de pandora ya está abierta y las aplicaciones vendrán según las necesidades de cada uno.

Los teléfonos móviles presentan ventajas en su servicio debido a factores tales como: roaming, movilidad, alcance, sistemas de facturación y pago. Al igual que el uso de tarjetas inteligentes "módulo de identidad del suscriptor" (SIM Cards) dichas tarjetas se pueden introducir en cualquier teléfono y el usuario puede llamar y recibir llamadas a su número de siempre, acceder a su agenda, calendario y correo electrónico, entre otros.

El teléfono móvil es un medio de comunicación más personal que el portátil, por el simple hecho que la persona lo tiene todo el tiempo con ella. Adicionalmente, el servicio de Mobile Internet así como el servicio de mensajes de texto son ofrecidos en el mismo idioma del país donde se presta el servicio, lo cual implica una gran ventaja si se compara

con las dificultades que esto ha representado en la penetración del Internet Fijo. Así, cobertura y movilidad han sido consideradas las ventajas comparativas más importantes de los teléfonos móviles frente a los portátiles y a las agendas electrónicas.

La combinación de un servicio personalizado, movilidad, localización y voluntad de pagar por el servicio, genera expectativas muy positivas en cuanto al desarrollo del Mobile Internet como un negocio exitoso.

### 1.4.2. Desventajas de la movilidad

#### ➤ **Salud - Exposición a las radiaciones**

El Proyecto Reflex, desarrollado por 12 equipos de científicos de 7 países de Europa, ha concluido que “la exposición a las radiaciones de los teléfonos móviles por debajo de los límites que se consideran inocuos provoca modificaciones celulares y en el ADN, aunque no son nocivas”.

Sin embargo, la investigación cuyo objetivo principal es el estudio sobre las radiaciones de los móviles, no tendrá continuación porque la UE ha paralizado su financiación.

La directora del equipo español, Ángeles Trillo, explicó “No está claro el por qué La Unión Europea establece sus prioridades pero hay muchos factores implicados y cómo no pensar que hay presiones para que estos estudios no sigan porque pueden crear una alarma social muy grande”. A juicio de Trillo, lo que es incontestable es que los teléfonos móviles “se utilizan mucho” y que “tienen efectos biológicos a nivel celular y molecular y hay que seguir estudiándolo” subrayó.

El investigador Alejandro Úbeda, miembro del equipo español, explicó que el estudio determina que existen cambios en las células pero que desconocen cuál es el mecanismo que pone en marcha el proceso e insistió en que, por el momento, tampoco podrán averiguarlo porque “no hay fondos para hacerlo”. “Lo que me parece raro -resaltó- es que después de encontrar esos resultados, que aunque no son de nocividad demuestran que hay un efecto por debajo de los límites que se consideran tolerables, es que no se profundice en ellos, que se cierre la carpeta y no se financie su continuación”. Según Úbeda, la respuesta celular se produce no sólo por el calor generado por las microondas, algo ya sabido, “sino por algo más y el mecanismo que lo genera es desconocido”.

Las primeras conclusiones del estudio que han hecho públicas los investigadores no han sido publicadas en ningún medio científico ni congreso especializado, aunque los responsables del mismo confían en seguir analizando los datos para progresar con las conclusiones.

Los participantes en el Proyecto Reflex, financiado por la UE y cuyos resultados acaban de ser enviados a la Comisión Europea, han estudiado desde febrero de 2000 hasta mayo de este año (2005) los efectos de los campos electromagnéticos de ambientes urbanos industrializados sobre las células utilizando para ello material de laboratorio.

Han analizado dos tipos de campos: las bajas frecuencias, es decir iguales o inferiores a 50 hertzios, que son las que emiten los computadores o las líneas de alta tensión; y las altas, iguales o por debajo de 1 gigahertzio, que son las microondas de la telefonía móvil, tanto de las antenas repetidoras como de los aparatos.

“Si el móvil sólo recibiese no habría problema, el problema es que emite y nuestra cabeza está en medio”, resumió Ubeda, experto en biofísica y miembro del servicio de Bioelectromagnetismo del hospital madrileño Ramón y Cajal.

El Proyecto Reflex sólo ha estudiado los niveles iguales o menores que se consideran seguros para el público en general, no por encima, y si en esos límites biofísicos había respuesta celular, de forma que cada grupo de trabajo se ha encargado de una parte y al español, compuesto por siete personas, le ha correspondido el análisis de la membrana de células madre neurales procedentes de ratas de 16 días.

En sus conclusiones, el Proyecto Reflex, que ha contado con 3,1 millones de euros de financiación -364.000 euros para el grupo español- recomienda que no se abuse del móvil, especialmente, entre los jóvenes.

Ubeda, que sí tiene y usa teléfono móvil, sigue “unas pautas personales” que pueden resumirse en que sólo se pone el teléfono en la oreja cuando ya ha establecido conexión con su interlocutor, evitando así “el pico máximo” de ondas; evita hablar donde hay poca cobertura, porque es ahí donde la señal tiene más intensidad; cambia de oreja y utiliza en lo posible un adminículo de “manos libres”.

### ➤ **Económico – Riesgos de inversión**

Los inversionistas del sector de comunicaciones se encuentran prevenidos por el fallido boom que sufrieron a finales de los años 90. Por lo tanto, no están dispuestos a invertir en tecnologías que no demuestren productividad y rentabilidad. Los operadores sólo podrán demostrar la productividad y rentabilidad del Mobile Internet hasta que construyan la red para lo cual necesitan el apoyo financiero de los inversionistas. Es así como el Mobile Internet puede verse como una de las apuestas más grandes que se haya presentado en el sector de las comunicaciones.

### ➤ **Tecnología - Dispositivos**

La gran desventaja que presenta el Mobile Internet frente a las agendas electrónicas y los portátiles es la incomodidad de sus pantallas y teclados.

Otra desventaja se refiere a la rapidez ya que no pueden prestar el servicio a una gran velocidad, pero de otro lado ofrece una mayor movilidad por el alcance y la cobertura que puede prestar.

Adicionalmente, se presentan de nuevo y con mayor énfasis las mismas preocupaciones que manifestaban los usuarios al inicio del comercio electrónico en cuanto a tecnologías invasivas, pérdida de privacidad y pocas garantías de seguridad.

## 1.5. DESARROLLO DE LA MOVILIDAD A NIVEL MUNDIAL

### 1.5.1. Japón

Los operadores y productores de telefonía móvil por lo general están alertas con respecto a los últimos adelantos y servicios que se prestan en Japón, debido a que es el mercado que se encuentra más desarrollado en el Mobile Internet.

El operador NTT DoCoMo lanzó exitosamente en el año 1999 el servicio de i-mode. Este servicio permite enviar y recibir mensajes electrónicos, leer los periódicos, tener acceso a información climática, horóscopos, descargar tonos de timbre y caricaturas. Los i-mode más avanzados permiten descargar música, software, juegos, tener acceso a bancos, bolsas de valores y reservar tiquetes de aerolíneas.

Cabe resaltar que los usuarios del i-mode están dispuestos a pagar por estos servicios, lo cual como vimos anteriormente, es una importante diferencia con los usuarios de Internet Fijo. Entre las razones del éxito del Mobile Internet en Japón se encuentran:

- La penetración de los computadores no es muy alta.
- Elevados costos para tener acceso a Internet Fijo.
- Siempre les ha llamado la atención los dispositivos pequeños.
- Los tres (3) proveedores japoneses operan en sistemas incompatibles. Normalmente esto sería considerado como una desventaja, pero en el caso japonés ha sido uno de los elementos de éxito ya que le da a los operadores de telefonía móvil poder de negociación sobre los productores de dispositivos móviles.
- Se basa en el modelo de negocio no en la tecnología, ya que para garantizar el contenido se le permite a los productores de contenido que le cobren a los usuarios por el mismo.
- Los usuarios son conscientes que el Mobile Internet es diferente al Internet Fijo.

### 1.5.2. Estados Unidos

Existe mayor penetración de computadores que teléfonos móviles debido a los costos que implican estas llamadas. El Internet Inalámbrico en EEUU ha tenido más desarrollo a través de los computadores portátiles y las agendas electrónicas. Aunque los precios de las agendas y portátiles son mayores, estos son los dispositivos que los norteamericanos identifican con el acceso a Internet Inalámbrico, debido a sus pantallas, teclados y poder de procesamiento.

No solamente los costos determinan el mercado también existen factores sociológicos que lo determinan. The Economist compara los hábitos de transporte entre norteamericanos y europeos encontrando que mientras los norteamericanos se transportan principalmente en sus automóviles por autopistas, los europeos utilizan el transporte público, donde fácilmente tienen tiempo para acceder a Internet a través de sus

teléfonos móviles. De otra parte, los norteamericanos prefieren tener acceso a Internet cuando esperan en hoteles, cafés, aeropuertos etc.

Comercialmente, los productores de agendas electrónicas se están concentrando en posesionarse en el mercado de Internet Inalámbrico. Por eso están desarrollando equipos con mayor potencia y servicios enfocados al Internet Inalámbrico. Se podría afirmar que Colombia no escapa a esta tendencia, como se verá más adelante, entre otros ya que la penetración de los teléfonos móviles no ha sido la esperada ni la que se ha obtenido en otros países de Latinoamérica.

### **1.5.3. Situación en Latinoamérica**

Latinoamérica es uno de los mercados donde la tecnología móvil se ha desarrollado más rápidamente, a pesar de que la mayoría de los países tienen un nivel bajo de ingresos per capita, la penetración sigue aumentando cada año.

Latinoamérica en el sector de las comunicaciones ha asumido reformas legales, liberalización de sus mercados, arrojando como resultado la existencia de múltiples operadores, proveedores, así como la región con mayor número de reguladores independientes en el mundo. El interés de operadores internacionales en el mercado latinoamericano se ve reflejado en la variedad de estándares de telefonía móvil que coexisten en la región.

Adicionalmente, sistemas como el prepago han dado la posibilidad a aquellos usuarios que normalmente no tendrían acceso a un teléfono móvil bajo un sistema de pospago, bien sea por falta de historia crediticia favorable o por representar riesgo, la posibilidad de tener acceso a un teléfono móvil, lo cual en países en vía de desarrollo produce un aumento en el número de usuarios.

Los países de Latinoamérica tendrán que decidir si adoptan o no la tecnología de 3G dependiendo de sus necesidades, así como la oportunidad apropiada para otorgar licencias, cuántas se deben otorgar a qué precios y definir qué estándares se van a aplicar o si se van a adoptar estándares internacionales. En la región varios países acaban de pasar por un proceso de licitación para telefonía PCS (personal communications system): Argentina, Chile, Bolivia, Costa Rica, Colombia El Salvador, Guatemala, Haití, Honduras, México, Paraguay, Perú, Puerto Rico y República Dominicana. Por lo tanto, la presencia de operadores y proveedores internacionales ha aumentado en la región.

Teniendo en cuenta la introducción del nuevo servicio de PCS en varios países de la región, será complicado plantear en esos países la adopción de la tecnología 3G a corto plazo, puesto que los operadores de PCS hasta ahora se encuentran implementando el servicio y recuperando su inversión. Por lo tanto, sería poco probable que estos operadores se encontraran interesados en adquirir licencias para 3G. Nuevos operadores tendrían que ser llamados a participar dentro de un proceso de licitación o subasta para asignar licencias de 3G. Cabe preguntarse si el mercado regional tendrá capacidad para tantos operadores, proveedores y servicios o será esta una manera de debilitar el mercado en la región. Incluso muchos países prefieren esperar a ver los resultados que la

experiencia de 3G produzca en Europa y Japón para aprender de ésta y así no cometer los mismos errores.

En conclusión, decisiones cuidadosas deberán ser asumidas por los gobiernos de la región en un futuro no lejano respecto a tecnología de 3G, ya que además de las razones anteriores, la utilización de esta tecnología requiere del uso del espectro electromagnético (recurso no renovable). Por ejemplo, Venezuela, teniendo en cuenta esta característica decidió saltar de tecnología 2G a 3G sin pasar por el “upgrade” de 2.5G., característica que también debe ser considerada por los operadores respecto de la decisión en cuanto al estándar que van a adoptar sea el apropiado.

Los dos casos más exitosos de telefonía móvil en Latinoamérica son Venezuela y Chile en donde la penetración y el número de usuarios de telefonía móvil han superado la telefonía fija en un lapso menor a 10 años. Por lo tanto, se espera que el desarrollo del Mobile Internet en estos dos países sea exitoso. Por un lado, en Venezuela se espera que sea el mecanismo que ayude a que la penetración de Internet aumente, ya que en Venezuela se presenta un nivel muy bajo comparado con otros países de la región, debido a las razones que analizamos anteriormente.

De otra parte, Chile es un país avanzado y maduro en tecnología, tiene la mayor penetración de Internet en la región así como el mayor número de las transacciones de comercio electrónico. Por lo tanto, el desarrollo del Mobile Internet debería ser satisfactorio, siempre y cuando el sector no se sature, preocupación existente en los actuales operadores

### **1.5.4. Colombia**

El desarrollo del Internet Inalámbrico en Colombia está en sus primeros pasos. Actualmente se puede tener acceso al mismo a través de redes inalámbricas privadas instaladas principalmente dentro de las universidades, compañías. Entidades públicas como la Alcaldía de Bogotá, por ejemplo, manejan redes inalámbricas para asuntos administrativos y el parque de diversiones Maloka lo hace para la administración de sus juegos. Bancolombia también ha implementado tecnología inalámbrica en su infraestructura administrativa, adicionalmente a estas implementaciones existen otros proyectos en el aeropuerto El Dorado, el Ministerio de Transporte y en algunos hoteles. Dichas redes como se ha visto anteriormente se acceden a través de dispositivos portátiles o agendas electrónicas.

De otra parte está el Mobile Internet que se puede acceder a través de teléfonos móviles de 2.5G, es decir a través del uso de PCS (bien sea GSM o CDMA) con el nuevo operador Colombia Móvil, o de las nuevas tecnologías GSM y CDMA a las que están migrando respectivamente los operadores ya existentes como Comcel y Movistar.

Como hemos analizado anteriormente, el Mobile Internet es la mezcla de dos tecnologías, por lo tanto es importante ver el comportamiento de las mismas en Colombia. Como primera medida, la penetración de Internet al 2002 según reportes de la Comisión de Regulación de Telecomunicaciones, era de 4.5% debido a los programas del gobierno tales como la agenda de conectividad y el empeño de las compañías privadas, arrojando

un incremento en la penetración de Internet. No obstante lo anterior, la conectividad e infraestructura continúan estando concentradas en las principales ciudades del país.

De otra parte, la telefonía móvil ha tenido un comportamiento irregular puesto que va presentando crecimientos así como desaceleraciones. El crecimiento inicial se debió al tardío inicio en Colombia de la prestación de servicios de telefonía móvil y a que la legislación desde un principio permitió competencia. Posteriormente vino una desaceleración en los años 1999 - 2000 por el decrecimiento que presentó la economía colombiana.

A partir del 2001 se presentó un incremento ya que la economía mejoró. Llegaron las compañías multinacionales Bellsouth (Llamada ahora Movistar) y América Móvil a consolidar a los operadores colombianos y se tomó la decisión de hacer un proceso licitatorio para servicio de PCS.

El proceso licitatorio de los PCS prosperó en Colombia al considerar necesaria la entrada de un nuevo operador que ofreciera una tecnología con mayor calidad, cobertura y capacidad. Por lo tanto, se inició un proceso licitatorio de conformidad con la Ley 555 del 2000, subasta a la cual se presentó el Consorcio Colombia Móvil conformado por la Empresa de Teléfonos de Bogotá ETB y Empresa Pública de Medellín (EPM), a quien fue adjudicada la concesión de los PCS. El servicio de PCS entró en funcionamiento a partir de Octubre del 2003. Recientemente Colombia Móvil anunció que prestará sus servicios bajo la tecnología GSM, por lo tanto será directo competidor del operador Comcel.

Se puede afirmar, viendo el desarrollo que se ha analizado en otros países, que Colombia al igual que Chile tomó la decisión de pasar por el "upgrade" en telefonía móvil de 2G a 2.5G antes de prestar telefonía de 3G. Decisión que no es extraña si se tiene en cuenta que el mercado de telefonía móvil en Colombia se inició tardíamente y por lo tanto es un mercado atrasado, así como por los altos costos que implica la implementación de 3G los cuales tendrían que ser amortizados y trasladados al usuario y la incertidumbre que representa el mercado colombiano respecto a la demanda de telefonía de 3G.

El mercado colombiano presenta índices bajos de penetración y niveles bajos de competencia en la región. De conformidad con estudios realizados por la Unión Internacional de Telecomunicaciones está comprobado que hay una relación directa entre el número de operadores y el crecimiento de la red. No obstante lo anterior, se espera que en Colombia para antes de 2007 la penetración de telefonía móvil supere la telefonía fija, lo cual en el año 2001 ya había sucedido en varios países de Latinoamérica.

De conformidad con el Diario La República "el segmento de las telecomunicaciones se perfila como uno de los de mayor crecimiento en el presente año, no sólo por la incursión de los Servicios de Comunicación Personal PCS sino por todas las actividades que se adelantan para cerrar la brecha digital que nos separa de los países más desarrollados."

Del análisis efectuado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones puede concluirse que a pesar de que Colombia no ha tenido el desarrollo tecnológico que han tenido otros países de la región de Latinoamérica tales como Chile y Venezuela, las expectativas de que esta situación cambie y que Colombia mejore sus índices de penetración tecnológica parecen ser alentadoras.

## 2. MOVILIDAD SOBRE IPv6

### 2.1. INTRODUCCION

A medida que aumenta la presencia de la informática móvil, el soporte de movilidad para los dispositivos Internet se convierte en una cuestión clave. No sólo se espera que el número de computadores móviles crezca enormemente, sino que ya existen teléfonos celulares ofreciendo servicios IP basados en WAP o GPRS, y su número aumentará rápidamente. Los dispositivos celulares de tercera generación trabajarán con conmutación de paquetes en vez de conmutación de circuitos, por lo que los servicios IP sobre dispositivos celulares de 3G serán una parte integral del futuro.

Actualmente, diversos problemas dificultan el roaming con dispositivos de Internet móvil. Los inconvenientes comienzan cuando se desconecta el dispositivo móvil de Internet y se conecta con cualquier otra cosa. Por lo general, no podrá continuar la comunicación a menos que se configure el sistema con una nueva dirección IP, la máscara de red correcta (netmask) y un nuevo router por defecto.

El problema tiene su origen en los mecanismos de enrutado (routing) que se usan en Internet. Las direcciones IP definen una clase de relación topológica entre los computadores conectados. Las versiones actuales de los protocolos Internet asumen implícitamente que cualquier nodo tiene siempre el mismo punto de conexión a Internet. Además, la dirección IP del nodo identifica el enlace sobre el cual reside. Si un nodo se mueve sin cambiar su dirección IP, no hay información en su dirección de red sobre el nuevo punto de conexión a Internet. Los protocolos de routing existentes no son pues capaces de enviar correctamente los datagramas.

En el escenario mostrado en la *Figura 2. 1* los paquetes dirigidos a un nodo con el prefijo de subred B siempre serán enrutados al enlace B. Los protocolos actuales de routing de Internet requieren que cambie la dirección de red cuando un host se desplaza a un nuevo emplazamiento.

Para soportar dispositivos móviles, que cambian dinámicamente sus puntos de acceso a Internet, el Internet Engineering Task Force (IETF) está trabajando en la estandarización de Mobile IP. Existen dos variaciones de Mobile IP, Mobile IPv4, basado en IPv4, y Mobile IPv6, basado en IPv6. Aquí se hará énfasis en este último.

### 2.2. VISION GENERAL DE MIPV6

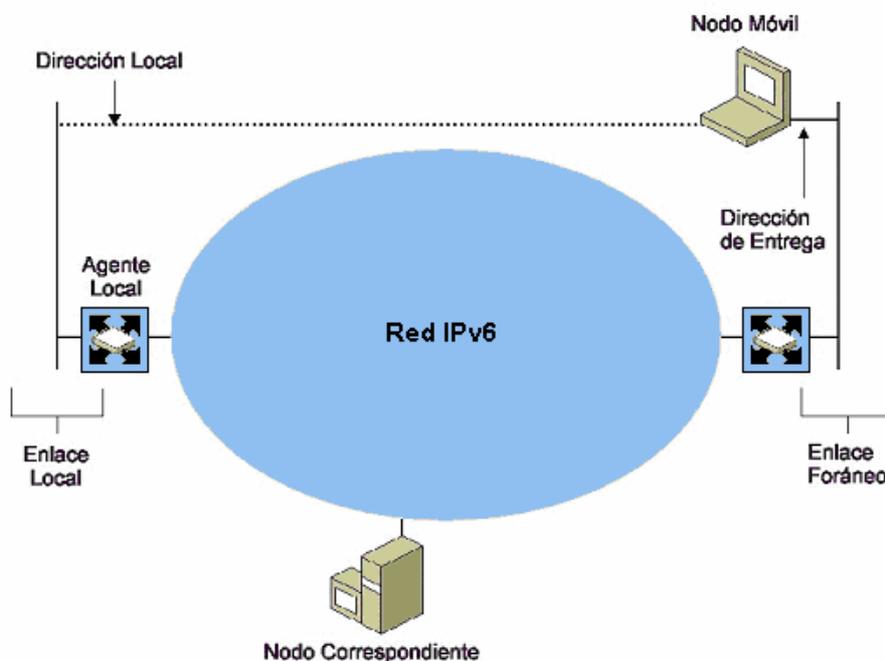
La versión móvil de IPv6 permite que los nodos puedan cambiar arbitrariamente su posición dentro de la red IPv6 mientras mantienen las conexiones existentes. Cuando un nodo IPv6 cambia su posición, también puede cambiar su enlace. Cuando un nodo IPv6 cambia su enlace, su dirección de IPv6 puede cambiar para mantener la conectividad. Existen mecanismos que permiten el cambio de direcciones cuando un nodo se mueve entre distintos enlaces, así como la autoconfiguración de direcciones stateless y stateful para IPv6. Sin embargo, cuando cambia la dirección, las conexiones existentes del nodo

móvil que estén utilizando la dirección asignada por el enlace anterior no pueden ser mantenidas y deben ser terminadas.

El principal beneficio de es que las conexiones existentes a través de las que el nodo móvil se comunica son mantenidas a pesar que éste cambie de localización y de direcciones. Para lograr esto, las conexiones hacia los nodos móviles están construidas con una dirección específica que permanece asignada hacia ellos y a través de la cual se puede acceder a cada nodo. El realiza el mantenimiento de direcciones en la capa de Internet, permitiendo la conservación de la capa de transporte en las conexiones cuando un nodo se mueve de un enlace a otro.

### 2.2.1. Componentes de MIPv6

*Figura 2. 1: Componentes de IPv6 Móvil*



Los componentes del IPv6 Móvil son los siguientes:

➤ **Enlace Local (Home Link)**

Es el enlace al que está asignado el prefijo de la subred local, desde la cual el Nodo Móvil obtiene su Dirección Local. El Agente Local también reside en este enlace.

### ➤ **Dirección Local (Home Address)**

Es la dirección asignada al Nodo Móvil cuando está conectado en el Enlace Local y a través de la cual se mantiene siempre accesible, sin importar su posición dentro de la red IPv6. Si el Nodo Móvil permanece en el Enlace Local, los procesos del IPv6 móvil no son utilizados y la comunicación se efectúa normalmente, pero si el Nodo Móvil no se encuentra en su lugar de origen (No está conectado al Enlace Local), los paquetes dirigidos hacia la Dirección Local del Nodo Móvil son interceptados por el Agente Local y redirigidos hacia la posición actual del Nodo Móvil en la red IPv6. De esta forma el Nodo Móvil se mantiene conectado lógicamente al enlace local ya que la dirección local siempre está apuntando a él.

### ➤ **Agente Local (Home Agent)**

Es un enrutador ubicado en Enlace Local que registra los nodos móviles y las diferentes direcciones que están utilizando mientras se encuentran fuera de su lugar de origen. Cuando esto sucede, el Agente Local se encarga de redirigir los datos enviados a la Dirección Local del Nodo Móvil hacia la dirección actual en la red IPv6 previamente registrada y de reenviar los datos enviados por el Nodo Móvil.

Aunque las Figuras en este capítulo muestran al Agente Local como el enrutador que conecta el Enlace Local con la red IPv6, en realidad el Agente Local no cumple con esta función. Además, el agente puede ser un nodo en el Enlace Local que no realiza ningún tipo de reenvío de datos cuando el nodo móvil se encuentra en su lugar de origen.

### ➤ **Nodo Móvil (Mobile Node)**

Es un nodo de IPv6 que a pesar de poder cambiar de enlaces y por consiguiente de direcciones, es capaz de mantener su accesibilidad mediante su Dirección Local. Un Nodo Móvil conoce su Dirección Local y la dirección global del enlace en el que se encuentra (conocida como Dirección de Entrega ó *Care-of Address*) e indica el mapeado de red desde su Dirección Local y Dirección de Entrega hacia el Agente Local y todos los nodos con capacidad de movilidad IPv6 con los que se está comunicando.

### ➤ **Enlace Foráneo (Foreign Link)**

Un enlace que no es el Enlace Local de un Nodo Móvil.

### ➤ **Dirección de Entrega (Care-of Address)**

Es una dirección utilizada por un Nodo Móvil cuando se encuentra en un Enlace Foráneo. Si se emplea una configuración de direcciones *stateless*, la Dirección de Entrega es una combinación del prefijo de la subred foránea y un identificador de interfase que es determinado por el Nodo Móvil. A uno de estos nodos se le puede asignar múltiples Direcciones de Entrega; sin embargo, solo una de estas direcciones se registra como la Dirección de Entrega principal por el Agente Local del nodo. La asociación entre una Dirección Local con la Dirección de Entrega de un Nodo Móvil se

conoce como *binding*. Los Agentes Locales y los Nodos Correspondientes guardan la información de estas asociaciones en una caché designada para ellos.

### ➤ **Nodo Correspondiente (Correspondent Node)**

Es un nodo IPv6 que se comunica con un Nodo Móvil. Un Nodo Correspondiente no necesariamente tiene que ser un nodo IPv6 móvil. Si el Nodo Correspondiente es un nodo IPv6 móvil, también puede ser un nodo que se encuentra en su lugar de origen.

---

**NOTA:** Las figuras en este capítulo asumen la existencia de algún tipo de red IPv6 sobre la cual los mensajes o datos del IPv6 móvil son enviados. Esta red podría ser una Internet IPv6, una porción de Intranet privada con capacidades IPv6 ó una infraestructura de tipo IPv4, ya sea privada o pública, si se utilizan tecnologías de transición tales como 6to4, ISATAP (Intra-site Automatic Tunnel Addressing Protocol, Protocolo de redireccionamiento automático interno ) ó Teredo.

---

### **2.2.2. Transparencia de la capa de transporte del IPv6 Móvil**

Para lograr que la dirección local tenga transparencia en la capa de transporte mientras se le asigna al nodo móvil una dirección de entrega, el protocolo IPv6 móvil utiliza las siguientes metodologías:

- Cuando un nodo móvil que no se encuentra en su lugar de origen envía datos a un nodo correspondiente, le envía los paquetes desde su dirección de entrega e incluye su dirección local en una opción designada para ella dentro de la cabecera de extensión de opciones de destino. Cuando el nodo correspondiente recibe un paquete, reemplaza lógicamente la dirección de origen (dirección de entrega) con la dirección local almacenada en la opción de la cabecera.
- Cuando un nodo correspondiente con soporte para IPv6 móvil transmite datos a un nodo móvil que no se encuentra en su lugar de origen, envía los paquetes hacia la dirección de entrega e incluye una cabecera de extensión de enrutamiento de Tipo 2, la cual contiene una sola dirección, la dirección local del nodo móvil. Cuando el nodo móvil recibe el paquete, procesa la cabecera y reemplaza lógicamente la dirección de destino del paquete (la dirección de entrega) con la dirección local registrada en la cabecera de enrutamiento de Tipo 2.

Si un nodo correspondiente no soporta IPv6 móvil, entonces los paquetes enviados entre él y el nodo móvil fuera de su lugar de origen se intercambian mediante el agente local. El nodo correspondiente envía los paquetes a la dirección local del nodo móvil, entonces, estos paquetes son interceptados por el agente local y redirigidos por este hacia la dirección de entrega del nodo móvil. A su vez, el nodo móvil enruta al agente local los paquetes destinados al nodo correspondiente, dejando que el agente se ocupe de reenviarlos hacia su destino. Este método de entrega indirecta de datos, conocido como tunelaje bidireccional (*bidirectional tunneling*), aunque no del todo eficiente, permite la

comunicación entre los nodos móviles fuera de su lugar de origen y los nodos correspondientes que no tienen soporte para IPv6 móvil.

### 2.2.3. Ventajas de IPv6 Móvil frente a IPv4 Móvil

El soporte de movilidad para dispositivos Internet es posible con las dos versiones del protocolo IP, la 4 y la 6, pero debido a la funcionalidad mejorada y diseño posterior de esta última algunas características han sido integradas más eficientemente en MIPv6, que, por tanto, aporta ventajas adicionales.

- Mobile IP ha de asignar direcciones IP globales a un nodo móvil sobre cada punto desde el que se conecta a Internet. Sobre los enlaces, que ofrecen a los nodos móviles un conjunto de direcciones IP (al menos una) asignadas como care-of-addresses del nodo móvil ha de ser reservada. Debido al reducido espacio de direcciones de IPv4 puede haber problemas sobre algunos enlaces para reservar suficientes direcciones IPv4, para IPv6 hay suficiente disponibilidad de direcciones.
- Usando direcciones anycast de IPv6 capacita a un nodo para enviar un paquete a uno cualquiera de los diversos sistemas que tienen esta dirección anycast asignada a una de sus interfaces. hace un uso eficiente de este mecanismo para el mecanismo Dynamic Home Agent Discovery enviando un Binding Update a la dirección anycast del agente primario y obteniendo respuesta de exactamente uno de los diferentes agentes primarios. IPv4 no proporciona una solución tan elegante.
- Usando los mecanismos de autoconfiguración de direcciones stateless y neighbor discovery, tampoco necesita DHCP ni agentes exteriores sobre enlaces exteriores para configurar la care-of-address de nodos móviles.
- puede usar IPSec para todos los requerimientos de seguridad, como autenticación y protección de integridad.
- Para evitar el desperdicio de ancho de banda en triangle routing, Mobile IP especifica los mecanismos de Route Optimization. Aunque Route Optimization es una funcionalidad adicional para Mobile IPv4, es una parte integral de MIPv6.
- Hay diversos routers en Internet, los cuales ejecutan "ingress-filtering", esto es, comprueban si la dirección fuente de un paquete puede ser alcanzado sobre la interfaz de por la cual el paquete ha sido recibido. puede coexistir con "ingress-filtering" sin problemas. Un nodo móvil sobre un enlace exterior usa su care-of-address como dirección fuente de sus paquetes, e incluye su dirección primaria en la opción de destino Home Address. Como la care-of-address es una dirección válida sobre el enlace exterior, el paquete pasará "ingress filtering" sin ningún problema.

### 2.3. OPCIONES Y MENSAJES DEL MIPV6

Los siguientes mensajes y opciones de mensajes son requeridos para el funcionamiento de IPv6 Móvil:

- Una nueva cabecera de extensión para movilidad, con un conjunto de mensajes de IPv6 móvil.
- Un conjunto de opciones de movilidad que incluyan mensajes de movilidad.
- Una nueva opción de dirección local para la cabecera de opciones de destino.
- Una nueva cabecera de enrutamiento de Tipo 2.
- El nuevo Protocolo de Control de Mensajes de Internet para IPv6 (ICMPv6: Internet Control Message Protocol for IPv6) para obtener el conjunto de agentes locales y el prefijo del enlace local.
- Cambios en los mensajes y opciones de descubrimiento del enrutador y más opciones para el descubrimiento de vecinos (*Neighbor Discovery*) en la red.

Para información adicional acerca de estos mensajes y opciones, ver el RFC 3775 (Mobility Support in IPv6, Soporte para movilidad en IPv6).

#### 2.3.1. Cabeceras y Mensajes de movilidad

Para facilitar el envío de mensajes entre nodos móviles, nodos correspondientes y agentes locales y con el propósito de manejar un conjunto de asociaciones (*bindings*) entre las direcciones locales y las de entrega, la IETF (*Internet Engineering Task Force*) ha definido una nueva cabecera de extensión para movilidad. Esta nueva cabecera puede contener uno de los tantos mensajes definidos para movilidad para realizar ciertas funciones específicas. Además, algunos mensajes de movilidad pueden contener una o más opciones.

##### ➤ Cabecera de Movilidad

La nueva cabecera de extensión para movilidad esta dedicada al transporte de los mensajes de movilidad y tiene la estructura mostrada en la *Figura 2. 2*. La cabecera de extensión para movilidad se identifica al colocar el valor de 135 al campo de "Siguiete cabecera" (Next Header) de la cabecera anterior.

Dentro de la cabecera de extensión para movilidad se encuentra:

- **Carga Útil del Protocolo (Payload Protocol)**

Este campo es equivalente al de “Siguiendo cabecera” en la cabecera de IPv6. Mantiene un valor constante de 59 para indicar que la cabecera de movilidad es la última en el paquete.

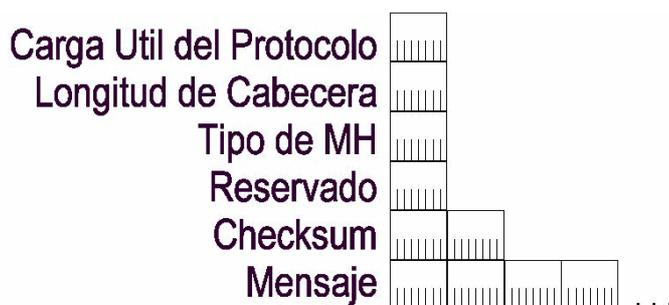
- **Tipo de MH (MH Type)**

Identifica específicamente el tipo de mensaje de movilidad.

- **Mensaje (Message Data)**

Contiene un mensaje de movilidad.

**Figura 2. 2:** Estructura de la cabecera de extensión de movilidad



➤ **Mensajes de Movilidad**

Se definen como mensajes de movilidad:

- **Solicitud de Renovación de Asociación (Binding Refresh Request)**

Se envía cuando un nodo correspondiente o un agente local solicita la asociación actual (*current binding*) a un nodo móvil. Si un nodo móvil recibe una solicitud de renovación de asociación, responderá con una actualización de asociación (*binding update*). Un nodo correspondiente envía una solicitud de renovación de asociación cuando una entrada en el caché de asociaciones (*binding cache*) se encuentra activa y el tiempo de vida de la entrada se acerca a su término. Un agente local envía una solicitud de renovación de asociación cuando el tiempo de vida de la entrada en el caché de asociaciones se acerca a su término.

- **Iniciación de Prueba Local (Home Test Init, HoTI)**

Es enviado por un nodo móvil durante el procedimiento de prueba de enrutabilidad (*Return Routability*) para probar la ruta indirecta entre un nodo móvil y un nodo

correspondiente a través del agente local. Este procedimiento será explicado detalladamente más adelante en la sección “Procedimiento de Prueba de Enrutabilidad”.

- **Iniciación de Prueba del Lugar de Entrega (Care-of Test Init, CoTI)**

Es enviado por un nodo móvil durante el procedimiento de prueba de enrutabilidad para probar la ruta directa entre un nodo móvil y un nodo correspondiente.

- **Prueba Local (Home Test, HoT)**

Es enviado por un nodo correspondiente durante el procedimiento de prueba de enrutabilidad como respuesta al mensaje HoTI.

- **Prueba del Lugar de Entrega (Care-of Test, CoT)**

Es enviado por un nodo correspondiente durante el procedimiento de prueba de enrutabilidad como respuesta al mensaje CoTI.

- **Actualización de Asociación (Binding Update)**

Es enviado por un nodo móvil IPv6 que no se encuentra en su lugar de origen para informarle a otro nodo de su nueva dirección de entrega. La opción de actualización de asociación se utiliza para:

- Actualizar la información del agente local con la nueva dirección de entrega primaria. Esto se conoce como actualización de asociación del registro local (*home registration binding update*). El agente local utiliza la dirección local guardada en la opción para dirección local y la dirección de entrega que se encuentra en una opción de movilidad para direcciones de entrega alternativas (*Alternate Care-of Address mobility option*) para actualizar su caché de la asociación entre la dirección local y la dirección de entrega del nodo móvil. Es decir, el agente local simplemente actualiza su registro de direcciones (en el caché) con la información de los mensajes que recibe.
- Actualizar un nodo correspondiente con soporte para IPv6 que se está comunicando activamente con un nodo móvil con un *binding* que establece la ruta entre la dirección local del nodo con su dirección de entrega. Este proceso se conoce como la actualización de asociación del registro de correspondencia (*correspondent registration binding update*). El nodo correspondiente utiliza la dirección local guardada en la opción para dirección local y la dirección de origen del paquete para actualizar el caché de la asociación entre la dirección local y la dirección de entrega del nodo móvil.

- **Confirmación de Actualización de Asociación (Binding Acknowledgement)**

Es enviado por el agente local o por un nodo correspondiente para avisar que un mensaje de actualización de asociación ha sido recibido. En este mensaje se

incluye una indicación de cuanto tiempo el nodo registrará la asociación en su caché. Para los agentes locales, este tiempo de vida determina por cuanto tiempo el agente local se mantendrá al servicio del nodo móvil. Para que la asociación sea actualizada, el nodo móvil debe enviar un nuevo mensaje de actualización de asociación o el nodo correspondiente y el agente local deben enviar mensajes de solicitud de renovación de asociación (*Binding Refresh Request*). El mensaje de confirmación de actualización de asociación también indica que tan seguido el nodo móvil debería enviar mensajes de actualización de asociación.

- **Error de Actualización de Asociación (Binding Error)**

Es enviado por un nodo correspondiente para reportar que se encontraron errores en un mensaje de actualización de asociación.

➤ **Opciones de Movilidad**

Los mensajes de movilidad pueden contener ciertas opciones, las que se encuentran definidas en el RFC 3775 son:

- **Opción Pad1**

Utilizada para insertar un solo byte de relleno.

- **Opción PadN**

Utilizada para insertar 2 o más bytes de relleno.

- **Opción Conveniencia de Renovación de Asociación (Binding Refresh Advice)**

Se encuentra en un mensaje de confirmación de actualización de asociación que se envía a un agente local. Es utilizado para indicar en cuanto tiempo el nodo móvil debería enviar una actualización de su registro local.

- **Opción Dirección de Entrega Alternativa (Alternate Care-of Address)**

Utilizada para indicar la dirección de entrega en el mensaje de actualización de asociación.

- **Opción Indicadores Actuales (Nonce Indices Option)**

Utilizada para indicar cierta información necesaria para determinar algunas llaves de asociación (*binding keys*).

- **Opción Autorización de Datos de Asociación (Binding Authorization Data)**

Empleada para llevar información encriptada en la que el receptor puede verificar que el mensaje de asociación fue enviado desde un nodo en el que se llevo a cabo el procedimiento de prueba de enrutabilidad (*Return Routability procedure*).

### 2.3.2. Cabecera de Enrutamiento de Tipo 2

Los nodos correspondientes con capacidades IPv6 Móvil, utilizan una nueva Cabecera de Enrutamiento de Tipo 2 cuando envían un paquete directamente a un nodo móvil que no se encuentra en su lugar de origen para transmitir la dirección local del nodo móvil. Los nodos correspondientes le asignan la dirección de entrega del nodo móvil al campo de dirección de destino en la cabecera IPv6 cuando envían los datos directamente. La *Figura 2. 3* muestra la estructura de la Cabecera de Enrutamiento de Tipo 2.

**Figura 2. 3:** Estructura de la nueva Cabecera de Enrutamiento de Tipo 2



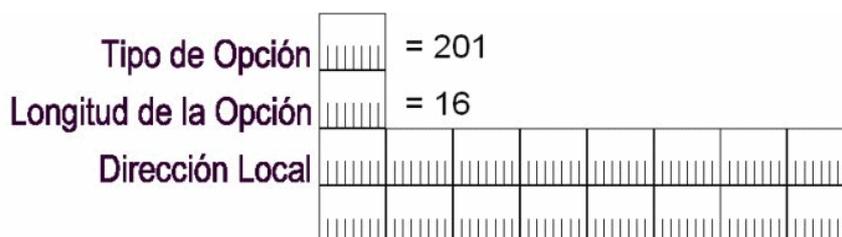
Durante el procesamiento de un paquete con una Cabecera de Enrutamiento Tipo 2, el nodo móvil reemplaza el campo de dirección de destino con el valor del campo de dirección local. El campo de dirección local en esta cabecera es en realidad la dirección de destino del nodo móvil, a la que se está enviando el paquete. (La dirección de entrega en el campo de dirección de destino de la cabecera IPv6 es solo una dirección de envío intermedia).

La Cabecera de Enrutamiento de Tipo 2 se diferencia de la Cabecera de Enrutamiento de Tipo 0 definida en el RFC 2460 en que solo puede contener una dirección y en que es de uso estricto de IPv6 Móvil. La Cabecera de Enrutamiento de Tipo 0 puede guardar varias direcciones y es procesada por los enrutadores para un manejo general de enrutamiento de destinos. El utilizar una forma distinta de enrutamiento permite que los firewalls le den un tratamiento distinto a los paquetes enviados a los nodos móviles que no se encuentran en su lugar de origen y que son enviados por nodos correspondientes con soporte para IPv6.

### 2.3.3. Opción de dirección local para la cabecera de opciones de destino (Home Address Option for the Destination Options Header)

Esta opción en la cabecera de extensión de opciones de destino se utiliza para indicar la dirección local del nodo móvil y se encuentra incluida en las actualizaciones de asociación enviadas a los agentes locales y en los paquetes que se envían directamente a nodos correspondientes con soporte para IPv6 Móvil desde nodos móviles que no se encuentran en su lugar de origen, siempre que exista una asociación (*binding*). Cuando un nodo móvil envía un paquete, a la dirección de origen en la cabecera de IPv6 se le asigna la dirección de entrega del nodo. Si a la dirección de origen en la cabecera de IPv6 se le asignara la dirección local, el enrutador de un enlace foráneo podría desechar el paquete, ya que la dirección de origen encajaría con el prefijo del enlace en el que el nodo móvil se encuentra. Para minimizar los ataques informáticos vía Internet en los que la dirección de origen de los paquetes nocivos es cambiada por una dirección no asignada por el terminal agresor, los enrutadores periféricos pueden implementar un filtrado de ingresos y así desechar los paquetes que no contienen direcciones de origen que coincidan topológicamente. Un ingreso, en este caso, está definido para los paquetes que entran a la Internet, en lugar de paquetes provenientes de la Internet hacia una Intranet. La *Figura 2. 4* muestra la estructura de la opción de dirección local de destino (Home Address destination option).

**Figura 2. 4:** Estructura de la opción de dirección local de destino (Home Address destination option)



Al utilizar la dirección de entrega como la dirección de origen en el paquete (una dirección que coincide con la topología en el enlace foráneo) e incluir la opción de dirección local de destino, el enrutador en el enlace foráneo reenvía el paquete hacia su destino. Cuando el paquete es recibido, el nodo correspondiente procesa la cabecera de opciones de destino y reemplaza lógicamente la dirección de origen con la dirección en la opción de dirección local, antes de pasar la carga útil (payload) al protocolo de la capa superior. Para este protocolo, el paquete fue enviado desde la dirección local.

A diferencia del campo de dirección local en la Cabecera de Enrutamiento Tipo 2, el campo de dirección local de la opción de dirección local guarda la verdadera dirección de origen del nodo móvil desde el que se envió el paquete (La dirección de entrega en el campo de dirección de destino de la cabecera IPv6 es solo una dirección de envío intermedia).

La opción de dirección local también se incluye en la actualización de asociación para que la dirección local de la asociación sea conocida para el nodo receptor.

### 2.3.4. Mensajes ICMPv6 para MIPv6

Un nodo móvil utiliza los siguientes mensajes de ICMPv6 para las direcciones dinámicas de agentes locales y el descubrimiento de prefijos de subred:

- Solicitud de descubrimiento de dirección del agente local
- Respuesta a la solicitud de descubrimiento de dirección del agente local
- Solicitud de prefijos móviles
- Anuncio de prefijos móviles

El descubrimiento dinámico de la dirección del agente local es un proceso mediante el cual un nodo móvil descubre dinámicamente la dirección global de un agente local en el enlace local. Este proceso solo se necesita si el nodo móvil no está configurado con la dirección de su agente local o si el agente local actual no se encuentra disponible.

El descubrimiento del prefijo de subred es el proceso mediante el cual un nodo móvil descubre dinámicamente el prefijo de su enlace local. Este proceso solo se necesita cuando la dirección local de un nodo móvil está a punto de entrar en un estado no válido.

#### ➤ **Solicitud de descubrimiento de dirección del agente local (Home Agent Address Discovery Request)**

Un nodo móvil utiliza este mensaje de ICMPv6 para comenzar el proceso de descubrimiento dinámico de la dirección del agente local. El mensaje se envía a la dirección de difusión (*anycast address*) de los agentes locales de IPv6 Móvil, la cual esta descrita en el RFC 2526. Esta dirección esta compuesta por el prefijo de la subred local de 64 bits y la ID de interfase `::FEFF:FFFF:FFFF:FFFE`. Todos los agentes locales son configurados automáticamente con esta dirección anycast. El agente local que este topológicamente más cercano al nodo móvil recibe el mensaje de solicitud.

En este mensaje, al campo **Tipo** se le asigna un valor de 150 y al de **Código** un valor de 0. Después del campo **Checksum** se encuentra un campo **Identificador** de 16 bits. El valor del identificador es escogido por el nodo emisor y copiado al campo Identificador del mensaje de respuesta a la solicitud de descubrimiento de dirección del agente local para lograr coincidir cada solicitud con su respuesta. Después del identificador se encuentra el campo **Reservado** de 16 bits al que se le asigna un 0 por el nodo emisor. La *Figura 2. 5* muestra la estructura del mensaje ICMPv6 de solicitud de descubrimiento de dirección del agente local.

El mensaje de solicitud de descubrimiento de dirección del agente local es enviado junto con la dirección de origen en la cabecera de IPv6 a la dirección de entrega del nodo móvil.

**Figura 2. 5:** Estructura del mensaje ICMPv6 de solicitud de descubrimiento de dirección del agente local



➤ **Respuesta a la solicitud de descubrimiento de dirección del agente local (Home Agent Address Discovery Reply)**

El agente local utiliza este mensaje para completar el proceso de descubrimiento dinámico de la dirección del agente local, informando al nodo móvil las direcciones de los agentes locales que se encuentran en su enlace local. La *Figura 2. 6* muestra la estructura del mensaje ICMPv6 de respuesta a la solicitud de descubrimiento de dirección del agente local.

**Figura 2. 6:** Estructura del mensaje ICMPv6 de respuesta a la solicitud de descubrimiento de dirección del agente local



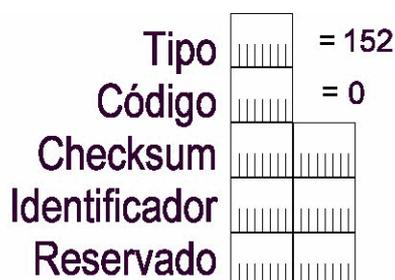
En este mensaje, al campo **Tipo** se le asigna un valor de 151 y al de **Código** un valor de 0. Después del campo **Checksum** se encuentra un campo **Identificador** de 16 bits. El valor del identificador es el valor recibido en la solicitud de descubrimiento de dirección del agente local. Después del identificador se encuentra el campo **Reservado** de 16 bits al que se le asigna un 0 por el nodo emisor y uno o varios campos de 128 bits que contienen las **direcciones de los agentes locales**. Estos campos contienen las direcciones globales de los agentes en el enlace local ordenados por preferencia (El que tenga la preferencia más alta va primero).

El mensaje de respuesta a la solicitud de descubrimiento de dirección del agente local se envía con la dirección global del agente local que responde a la solicitud asignada a la dirección de origen en la cabecera de IPv6 y con la dirección de entrega del nodo móvil asignada a la dirección de destino. No se incluye una Cabecera de Extensión de Enrutamiento de Tipo2.

➤ **Solicitud de prefijos móviles (Mobile Prefix Solicitation)**

Un nodo móvil utiliza este mensaje para obtener el prefijo de su subred local mientras no se encuentra en su lugar de origen. La respuesta esperada es el mensaje de anuncio de prefijos móviles de ICMPv6 enviado por el agente local, el cual contiene el prefijo de su subred local e información de configuración mediante la cual el nodo móvil puede actualizar o renovar su dirección local. La *Figura 2. 7* muestra la estructura del mensaje ICMPv6 de solicitud de prefijos móviles.

*Figura 2. 7: Estructura del mensaje ICMPv6 de solicitud de prefijos móviles*

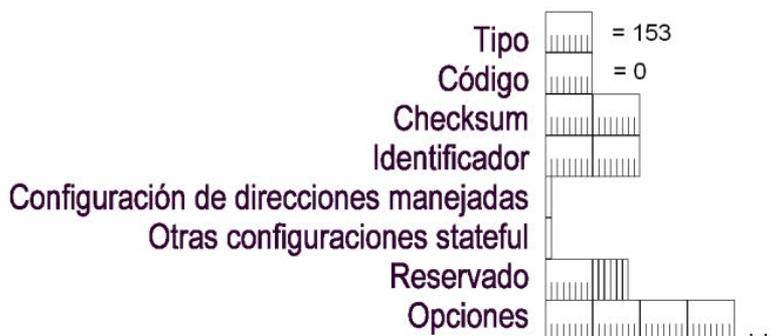


El campo **identificador** es asignado por el nodo móvil y utilizado para que cada mensaje de solicitud coincida con su mensaje de respuesta (mensaje de anuncio de prefijos móviles).

➤ **Anuncio de prefijos móviles (Mobile Prefix Advertisement)**

El agente local utiliza este mensaje para publicar el prefijo de la subred local y otras opciones de configuración ante los nodos móviles que no se encuentran en su lugar de origen, ya sea respondiendo a un mensaje de solicitud de prefijos móviles o no. La *Figura 2. 8* muestra la estructura del mensaje ICMPv6 de anuncio de prefijos móviles.

*Figura 2. 8: Estructura del mensaje ICMPv6 de anuncio de prefijos móviles*



El campo **Identificador** contiene el mismo valor recibido en el mensaje de solicitud de prefijos móviles. Los campos de Configuración de direcciones manejadas (Managed Address Configuration), Otras configuraciones stateful (Other Stateful Configuration) y Opciones son iguales a sus campos correspondientes encontrados en el mensaje de anuncio de enrutadores (Router Advertisement) definido en el RFC 2461, sólo que el RFC 3775 define que el uso de la opción de Información de prefijo modificada (Modified Prefix Information option), como se describe en la sección siguiente:

### 2.3.5. Modificaciones a los mensajes y las opciones de descubrimiento de vecinos

El protocolo IPv6 móvil define los siguientes cambios a los mensajes y opciones de descubrimiento de vecinos:

- Mensaje de anuncio de enrutadores modificado.
- Opción de Información de prefijo modificada.
- Nueva opción de intervalo de anuncios.
- Nueva opción de Información de agente local.

#### ➤ Modificaciones al mensaje de anuncio de enrutadores

El protocolo IPv6 define una bandera adicional en este mensaje para facilitar el descubrimiento de agentes locales en el enlace local. La nueva bandera, conocida como la bandera de agente local (H), indica si el enrutador emisor es capaz de ser un agente local. Cada uno de los agentes locales en el enlace local le asignan su valor a esta bandera cuando envían su anuncio de enrutadores y cada agente local recibe cada anuncio de enrutadores. De esta forma, cada agente local puede compilar una lista de posibles agentes locales. La *Figura 2. 9* muestra la estructura del mensaje de anuncio de enrutadores modificado.

Adicionalmente, IPv6 móvil permite que un anuncio de enrutadores sea enviado con más frecuencia que cada 3 segundos, como se especifica en el RFC 2461. Al aumentar la frecuencia de los anuncios de enrutadores, los nodos móviles pueden utilizarlos para detectar el movimiento hacia el nodo foráneo más rápidamente. Los valores recomendados para el proceso pseudo-periódico de anuncio de enrutadores son como mínimo de 0.03 segundos y como máximo de 0.07.

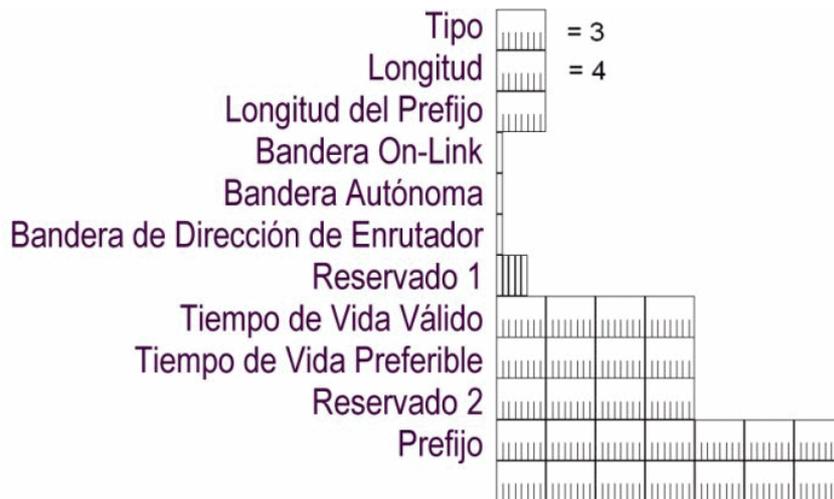
**Figura 2. 9:** Estructura del mensaje de anuncio de enrutadores modificado



➤ **Opción de información de prefijo modificada**

Para indicar la dirección global de un enrutador emisor, IPv6 móvil define una bandera adicional y un uso distinto para el campo Prefijo en la Opción de información de prefijo. La *Figura 2. 10* muestra la estructura de la opción de Información de prefijo modificada.

**Figura 2. 10:** Estructura de la opción de Información de prefijo modificada



De acuerdo con el RFC 2461, los anuncios de enrutadores son enviados desde la dirección de localidad de enlace (*link-local address*). Sin embargo, la dirección global de un agente local debe ser incluida en el anuncio de enrutamiento que se envía, de tal manera que cada agente local pueda compilar una lista de agentes locales. El protocolo IPv6 móvil define la bandera de dirección de enrutador (R) en la opción de Información de prefijo. Cuando tiene un valor asignado, la bandera R le indica al receptor que el campo Prefijo contiene la dirección global del enrutador emisor. En el campo Prefijo original, los bits más altos que corresponden al valor del campo Longitud de Prefijo (Prefix Length) recibían los valores apropiados para el prefijo anunciado y a los bits que estaban fuera de la longitud del prefijo se les asignaba un 0. Con esta nueva definición, el campo Longitud de Prefijo se anuncia de la misma manera, solo que este campo contiene la dirección global completa (128 bits) del enrutador emisor.

➤ **Opción de intervalo de anuncios (Advertisement Interval Option)**

Esta opción se envía dentro de los mensajes de anuncio de enrutadores para especificar que tan seguido el enrutador envía anuncios de enrutadores por multidifusión sin ser solicitados. Un nodo móvil que recibe un mensaje con esta opción puede utilizar el intervalo para detectar si se ha movido o no a otro enlace. La *Figura 2. 11* muestra la estructura de la Opción de intervalo de anuncios.

*Figura 2. 11: Estructura de la Opción de intervalo de anuncios*



Esta opción contiene un campo de 32 bits que indica el número máximo de milisegundos entre mensajes de anuncio de enrutadores no solicitados enviados por el enrutador mediante el esquema de anuncio pseudo-periódico descrito en la sección 6.2.4 del RFC 2461.

➤ **Opción de información del agente local (Home Agent Information Option)**

Esta opción es enviada en los mensajes de anuncio de enrutadores por un agente local para especificar su configuración. La *Figura 2. 12* muestra la estructura de la opción de información del agente local.

Incluidos en esta opción se encuentran la preferencia del agente local (un número que indica el nivel de preferencia para que el enrutador emisor se convierta en agente local) y el tiempo de vida del agente local (cuanto tiempo el agente puede actuar como agente local).

*Figura 2. 12: Estructura de la opción de información del agente local*



Los agentes locales en un enlace local utilizan los valores de preferencia para ordenar la lista de agentes locales que es enviada al nodo móvil durante el descubrimiento de dirección del agente local.

## 2.4. ESTRUCTURAS DE DATOS DE MIPv6

Las siguientes estructuras de datos son necesarias para facilitar los procesos de IPv6 móvil:

- Caché de asociaciones (binding cache)
- Lista de actualizaciones de asociación (binding update list)
- Lista de agentes locales (home agents list)

### 2.4.1. Cache de asociaciones

Es una tabla mantenida por cada nodo correspondiente y cada agente local que contiene las asociaciones actuales de los nodos móviles. Cada registro del caché de asociaciones contiene la siguiente información:

- La dirección local del nodo móvil.
- La dirección de entrega del nodo móvil.
- El tiempo de vida del registro:  
Este valor se obtiene del campo Tiempo de vida del último mensaje de actualización de asociación recibido.

- Una bandera que indica si la asociación (*binding*) es un registro local. Esta bandera es asignada solo para los registros de caché de asociaciones en agentes locales.
- El momento en el que la última solicitud de asociación (*binding request*) fue enviada.

Los detalles para la implementación del caché de asociaciones no se especifican de forma estricta, siempre y cuando el comportamiento externo se mantenga dentro de las especificaciones en el RFC 3775. Por ejemplo, se podría mantener un caché de asociaciones por separado o combinarlo con el caché de destinos. Si se tiene un caché separado se podría revisarlo antes que al caché de destinos o tener un apuntador que relacione el registro del caché de destinos con su registro correspondiente en el de asociaciones.

En cualquier caso, la información en el caché de asociaciones tiene precedencia sobre la información en el caché de vecinos. Cuando se esta tratando con destinos móviles fuera de su lugar de origen, los paquetes deberían ser enviados a la dirección local del nodo móvil vía su dirección de entrega. Si los paquetes son enviados directamente a la dirección local del nodo mientras no se encuentra ahí, el agente local debe interceptarlos y redirigirlos hacia el nodo móvil, bajando la eficiencia y el desempeño de la comunicación entre el nodo correspondiente y el nodo móvil.

El protocolo IPv6 para Windows XP y Windows 2003 Server utiliza un caché de asociaciones por separado. Cada registro del caché guarda la dirección local, su dirección de entrega y un apuntador al registro del caché de destinos para la dirección de entrega. Un registro del caché de destinos de una dirección local de un nodo móvil fuera de su lugar de origen tiene un apuntador hacia un registro del caché de asociaciones. El registro en el caché de asociaciones muestra la ruta entre la dirección local y la dirección de entrega e indica cual es el registro del caché de destinos para la dirección de entrega. El registro de la dirección de entrega de destino guarda la dirección del próximo salto (next-hop) y la interfaz de la dirección de entrega.

### 2.4.2. LISTA DE ACTUALIZACIONES DE ASOCIACION

Esta lista, que reside en los nodos móviles, se mantiene para guardar las más recientes actualizaciones de asociación que han sido enviadas por un agente local o un nodo correspondiente. Un registro de esta lista contiene:

- La dirección del nodo al que se le envió la actualización de asociación.
- La dirección local de la actualización de asociación.
- La dirección de entrega enviada en la última actualización de asociación.
- El valor del campo Tiempo de vida en la actualización de asociación.

- Lo que queda del Tiempo de vida de la asociación (binding):  
El valor inicial es el del campo Tiempo de vida de la actualización, cuando el tiempo termina, el registro es borrado de la lista.
- El valor máximo del campo Número secuencial enviado en actualizaciones de asociación anteriores.
- El momento en el que se envió la última actualización de asociación.
- Una indicación que determine si se necesita una retransmisión para las actualizaciones de asociación que tengan la bandera Responder, A (Acknowledge, A) con valor 1 y cuando se debe enviar la retransmisión.
- Una bandera que indique que no se necesitan más actualizaciones de asociación.  
A esta bandera se le asigna un valor de 1 cuando el nodo móvil recibe un mensaje ICMPv6 de Problema no reconocido en el parámetro de tipo siguiente cabecera (ICMPv6 Parameter Problem-Unrecognized Next Header Type Encountered message) como respuesta a un mensaje de prueba de enrutabilidad o a una actualización de asociación.

### 2.4.3. Lista de agentes locales

Esta lista guarda la información sobre cada enrutador que ha enviado un mensaje de anuncio de enrutadores hacia el enlace local con la bandera de agente local (H) con un valor de 1. Los agentes locales mantienen esta lista para poder enviar la lista de posibles agentes locales a un nodo móvil que lo solicite durante el descubrimiento de dirección de agente local.

Un registro de esta lista contiene lo siguiente:

- Una dirección de localidad de enlace (*link-local address*) del enrutador en el enlace, obtenida de la dirección de origen del mensaje de anuncio de enrutadores.
- La dirección o direcciones globales del agente local, obtenidas del campo Prefijo en las opciones de Información de prefijo en los mensajes de anuncio de enrutadores que tengan un valor de 1 en la bandera de Dirección de enrutador.
- Lo que queda del Tiempo de vida del registro.
- El valor inicial se obtiene del campo Tiempo de vida del agente local en la opción de Información del agente local o del campo Tiempo de vida del enrutador en el mensaje de anuncio de enrutadores. Cuando el tiempo termina, el registro es borrado de la lista.
- La preferencia del agente local, obtenida del campo Preferencia del agente local en la opción de Información del agente local.

Si el anuncio de enrutadores no contiene la opción de Información del agente local, a la preferencia se le asigna 0. Basados en la definición del campo Preferencia del agente local, un 0 es un nivel de prioridad medio. Un nodo móvil utiliza el valor de preferencia para escoger su agente local. Un agente local utiliza el valor de preferencia para ordenar los registros de la lista de agentes locales enviada a un nodo móvil durante el descubrimiento de dirección del agente local. Cuando el nodo móvil recibe la lista, selecciona al primer agente local de la lista.

### 2.5. REGISTRO DE CORRESPONDENCIA

Existen dos maneras mediante las cuales los nodos móviles que no se encuentran en su enlace local pueden comunicarse con nodos correspondientes.

- **Directamente**

Si el nodo correspondiente tiene soporte para IPv6 Móvil, entonces los datos pueden ser enviados directamente entre el nodo móvil y el nodo correspondiente. El nodo móvil envía los datos directamente utilizando la dirección del nodo correspondiente e incluye la opción de Dirección local de destino para comunicarle su dirección local. El nodo correspondiente transmite los datos hacia la dirección de entrega del nodo móvil e incluye una Cabecera de Enrutamiento Tipo 2 para indicar la dirección local del nodo móvil. En el RFC 3775, a este método de entrega directa de datos se le define como *Optimización de ruta* (route optimization).

- **Indirectamente**

Si el nodo correspondiente no soporta IPv6 móvil o el registro de la asociación (binding) entre el nodo móvil y el nodo correspondiente con soporte para IPv6 no se ha completado aún, los datos pueden ser enviados indirectamente entre los dos nodos por medio del agente local.

Si se trata de la transmisión desde el nodo móvil hacia el nodo correspondiente, los paquetes son enrutados hacia el agente local. El nodo móvil encapsula el paquete IPv6 enviado desde su dirección local hacia la dirección del nodo correspondiente con una cabecera de IPv6 adicional, incluyendo como dirección de origen la dirección de entrega del nodo móvil y como dirección de destino, la dirección global del agente local. Después de recibir el paquete, el agente local quita la cabecera IPv6 externa y reenvía el paquete original hacia el nodo correspondiente.

En cuanto a la transmisión desde el nodo correspondiente hacia el nodo móvil, el primero envía el paquete hacia la dirección local del nodo móvil. Cuando el agente local intercepta el paquete, lo encapsula con una cabecera adicional de IPv6, colocando como dirección de origen la dirección local del agente local y como dirección de destino la dirección de entrega del nodo móvil.

La entrega indirecta de datos por medio del agente local, aunque no del todo eficiente, permite la comunicación entre nodos móviles y nodos correspondientes que no soportan IPv6 móvil.

El RFC 3775 define este método de entrega indirecta de datos como *tunelaje bidireccional* (bidirectional tunneling).

Para que la entrega directa de datos pueda ocurrir, el nodo correspondiente con el que se comunica el nodo móvil debe tener capacidades IPv6 y debe tener un registro en su caché de asociaciones (binding cache) que muestre la ruta entre las direcciones local y de entrega del nodo móvil. Un nodo correspondiente que recibe paquetes en los que se encuentre una opción de Dirección local en un cabecera de Opciones de destino debe tener un registro en su caché de asociaciones que corresponda con esa información, de lo contrario, el paquete será desechado. Este comportamiento permite dar cierta protección contra usuarios o programas maliciosos que pretendan hacerse pasar por nodos móviles fuera de su lugar de origen.

El proceso de crear un registro de caché de asociaciones en el nodo correspondiente y una lista de actualizaciones de asociación (binding update list) en el nodo móvil se conoce como *Registro de Correspondencia* (correspondent registration) y consiste en lo siguiente:

### ➤ **Procedimiento de prueba de enrutabilidad**

Este procedimiento sirve para probarle al nodo correspondiente que se puede acceder al nodo móvil, ya sea por medio de su dirección local (utilizando el camino indirecto) o usando su dirección de entrega (utilizando el camino directo) y además determinar la información clave utilizada para derivar una llave de manejo de asociaciones (binding management key), la cual se utiliza para calcular los valores de las autorizaciones en los mensajes de asociaciones (binding messages).

### ➤ **Intercambio de mensajes de Actualización de asociación y Confirmación de actualización de asociación**

Este intercambio utiliza la llave de manejo de asociaciones para probar que los mensajes fueron enviados desde los nodos que participaron en el procedimiento de prueba de enrutabilidad. Con la actualización de asociación, el nodo correspondiente verifica los datos de autorización incluidos y actualiza su caché de asociaciones con un registro del nodo móvil, para luego responder, en la mayoría de los casos, con un mensaje de confirmación de actualización de asociación, el que también contiene los datos de autorización calculados mediante la llave de manejo de asociaciones.

El resultado final del Registro de correspondencia es el siguiente:

- En el nodo móvil, se crea un registro del nodo correspondiente en su lista de actualizaciones de asociación.
- En el nodo correspondiente, se crea un registro del nodo móvil en su caché de asociaciones.

La llave de manejo de asociaciones puede utilizarse para darle mantenimiento posterior a la asociación siempre y cuando la dirección local o la dirección de entrega del nodo móvil no cambien. Cuando esto sucede, se realiza el procedimiento de prueba de enrutabilidad de nuevo para asegurar que el nodo móvil sigue siendo accesible a pesar de haber cambiado de direcciones.

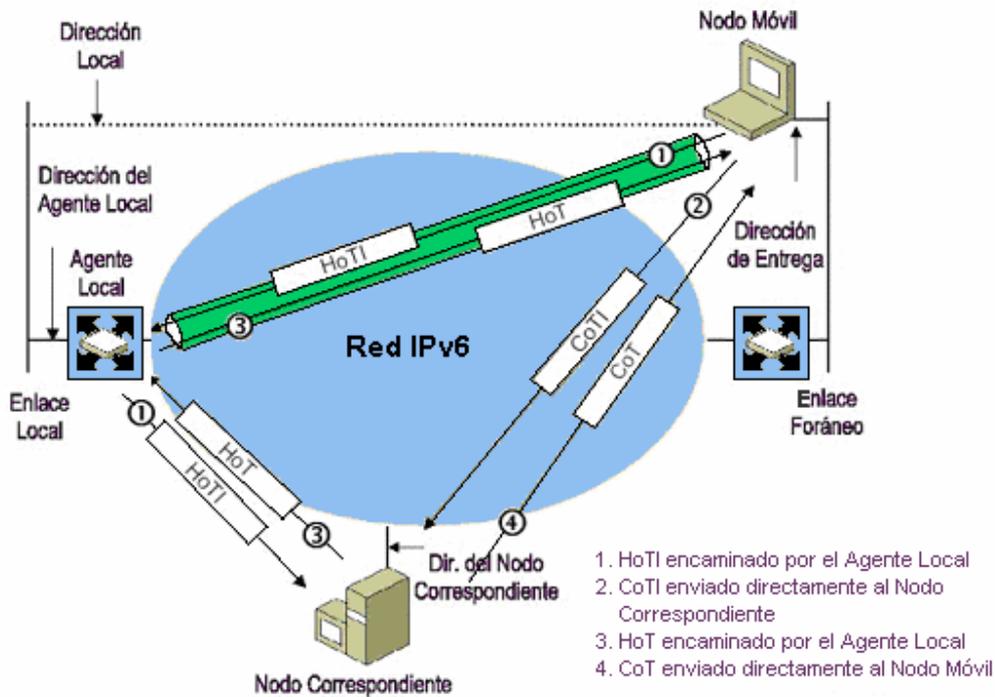
### **2.5.1. Procedimiento de prueba de enrutabilidad (Return Routability Procedure)**

La *Figura 2. 13* muestra el procedimiento de prueba de enrutabilidad. El procedimiento completo es:

1. El nodo móvil envía un mensaje de Iniciación de prueba local (HoTI) indirectamente al nodo correspondiente, por medio del agente local.
2. El nodo móvil envía un mensaje de Iniciación de prueba del lugar de entrega (CoTI) directamente al nodo correspondiente.
3. El nodo correspondiente envía un mensaje de Prueba local (HoT) como respuesta al mensaje HoTI enviado por el nodo móvil.
4. El nodo correspondiente envía un mensaje de Prueba del lugar de entrega como respuesta al mensaje CoTI enviado por el nodo móvil.

El nodo correspondiente envía las respuestas a los mensajes HoTI y CoTI en el momento en que los recibe, sin importar cual llega primero. El nodo correspondiente no guarda ningún tipo de información de estado después de responder a cada uno de los mensajes. El mensaje HoT se envía a la dirección local del nodo móvil. Para que los mensajes HoTI y HoT estén seguros en la ruta entre el agente local y el nodo móvil, el agente local puede utilizar el método de tunelaje de encapsulación segura de la carga útil del Protocolo de seguridad de Internet IPsec (Encapsulating Security Payload (ESP) tunnel mode) para mantener confidenciales los datos, verificar el origen de los datos y asegurar la integridad del mensaje HoT.

Figura 2. 13: Procedimiento de prueba de enrutabilidad



**Nota:** El procedimiento de prueba de enrutamiento está diseñado para verificar la accesibilidad de un nodo móvil en cualquiera de sus direcciones. La dirección local se debe verificar para prevenir el reemplazo de actualizaciones de asociaciones. La dirección de entrega se debe verificar para prevenir ataques de tipo “servicio denegado” (denial-of-service) en los que se induce al nodo correspondiente a enviar paquetes a una dirección de entrega falsa.

La llave de manejo de asociaciones se deriva de dos valores distintos, uno en el mensaje HoT y el otro en el CoT. El propósito del mensaje HoT es verificar que el nodo móvil es accesible por medio de su dirección local. Un atacante solo podría averiguar el valor guardado en el mensaje HoT si tiene acceso a la ruta desde el nodo correspondiente hasta el agente local. El propósito del mensaje CoT es verificar que el nodo móvil es accesible por medio de su dirección de entrega. Un atacante solo podría averiguar el valor guardado en el mensaje HoT si tiene acceso a la dirección de entrega o a la ruta desde el nodo correspondiente hasta el nodo móvil. Si el atacante no puede capturar los dos valores, no puede derivar la llave de manejo de asociaciones.

### 2.5.2. Detectando nodos correspondientes que no soportan mipv6

Un nodo sin soporte para IPv6 móvil no reconocerá mensajes de movilidad, es decir, los mensajes HoTI y CoTI enviados por el nodo móvil, ya que utilizan la nueva Cabecera de

Movilidad. Debido a que el nodo correspondiente no reconocerá la cabecera, enviará como respuesta un mensaje ICMPv6 de Problema no reconocido en el parámetro de tipo Siguiente cabecera (ICMPv6 Parameter Problem-Unrecognized Next Header Type Encountered message) (Tipo 4, Código 1 de ICMPv6). Cuando el nodo móvil recibe este mensaje, guarda la falta de soporte para movilidad del nodo correspondiente en el registro del nodo en su lista de actualizaciones de asociación. Así, todos los paquetes enviados después son enviados por medio del agente local. Dependiendo de la implementación de IPv6 móvil, el nodo móvil puede volver a ejecutar el procedimiento de Prueba de Enrutabilidad de manera periódica para probar el soporte actual del nodo correspondiente para IPv6 móvil.

### 2.6. INTERCAMBIO DE MENSAJES EN MIPV6

Antes de comenzar a entender los distintos procesos utilizados por IPv6 móvil, es importante conocer los conjuntos de mensajes e información que se intercambian entre los nodos móviles y los nodos correspondientes y entre los nodos móviles y los agentes locales. Esta sección examina los siguientes tipos de intercambio de mensajes en IPv6 móvil.

- Intercambio de datos entre un nodo móvil y un nodo correspondiente.
- Mantenimiento de asociaciones (binding maintenance).
- Descubrimiento de agentes locales (home agent discovery).
- Descubrimiento de prefijos móviles (mobile prefix discovery).

#### 2.6.1. Intercambio de datos entre un nodo móvil y un nodo correspondiente

Estos datos pueden ser enviados por medio de:

- Entrega indirecta por medio del agente local si no existe una asociación (tunelaje bidireccional).
- Entrega directa cuando existe una asociación (optimización de ruta).

##### ➤ **Entrega indirecta por medio del agente local**

Cuando un nodo correspondiente no tiene aún una asociación con el nodo móvil o no tiene soporte para IPv6 móvil, envía los paquetes al nodo móvil utilizando su dirección local. La *Figura 2. 14* muestra el nodo correspondiente enviando paquetes a un nodo móvil fuera de su lugar de origen por medio de entrega indirecta.

Estos paquetes contienen lo siguiente:

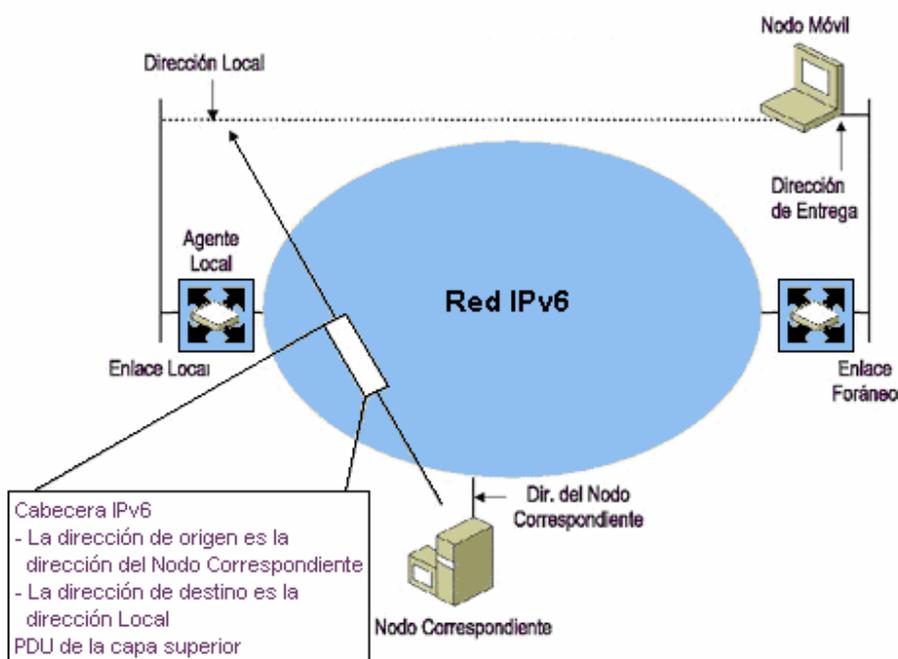
- **Cabecera de IPv6**

En esta cabecera, la dirección de origen es la dirección del nodo correspondiente y la dirección de destino es la dirección local del nodo móvil. Ya que no existe un registro de caché de asociaciones, el nodo correspondiente envía el paquete como si el nodo móvil se encontrara físicamente en su enlace local.

- **PDU de capa superior**

Contiene los datos de la capa de Aplicación enviados al nodo móvil por el nodo correspondiente.

**Figura 2. 14.** El nodo correspondiente enviando paquetes a la dirección local del nodo móvil



Cuando el agente local intercepta un paquete enviado a la dirección local del nodo móvil, lo redirige hacia el nodo móvil como se muestra en la *Figura 2. 15*.

Estos paquetes contienen lo siguiente:

- **Cabecera de IPv6 (exterior)**

En la cabecera exterior, la dirección de origen es la dirección del agente local en el enlace local y la dirección de destino es la dirección de entrega del nodo móvil.

- **Cabecera de IPv6 (interior)**

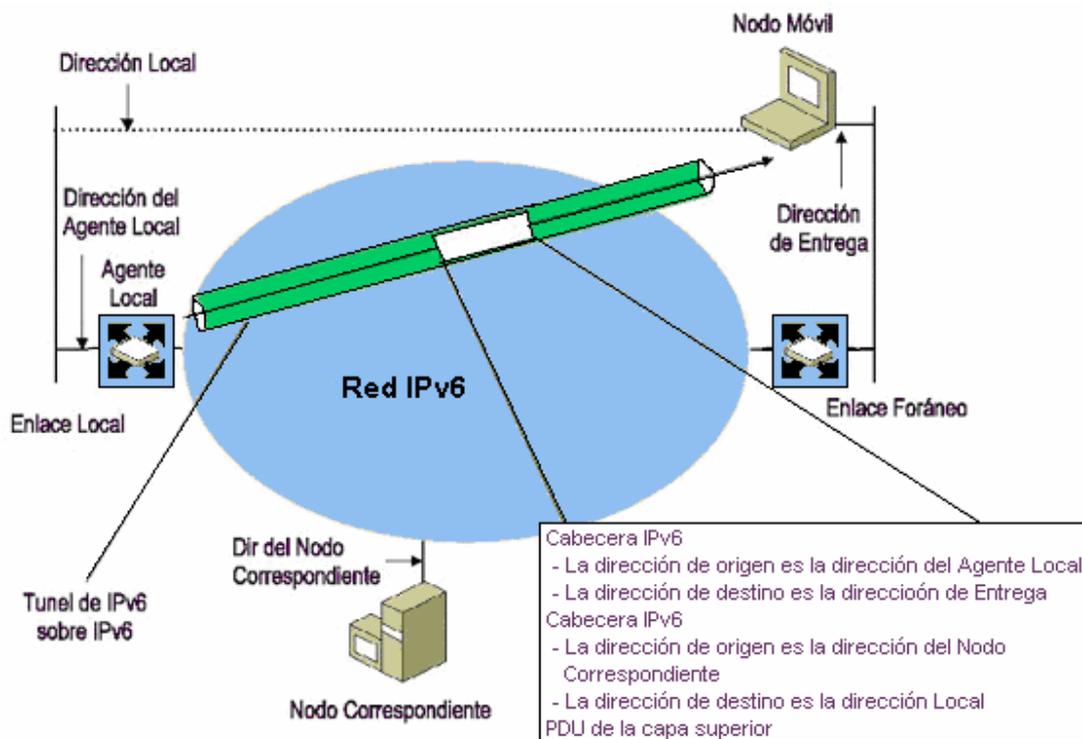
En la cabecera interior, la dirección de origen es la dirección del nodo correspondiente y la dirección de destino es la dirección local del nodo móvil.

- **PDU de capa superior**

Contiene los datos de la capa de Aplicación enviados a la dirección local del nodo móvil por el nodo correspondiente. Desde la perspectiva de la capa de aplicación, los datos fueron enviados desde la dirección del nodo correspondiente hacia la dirección local del nodo móvil.

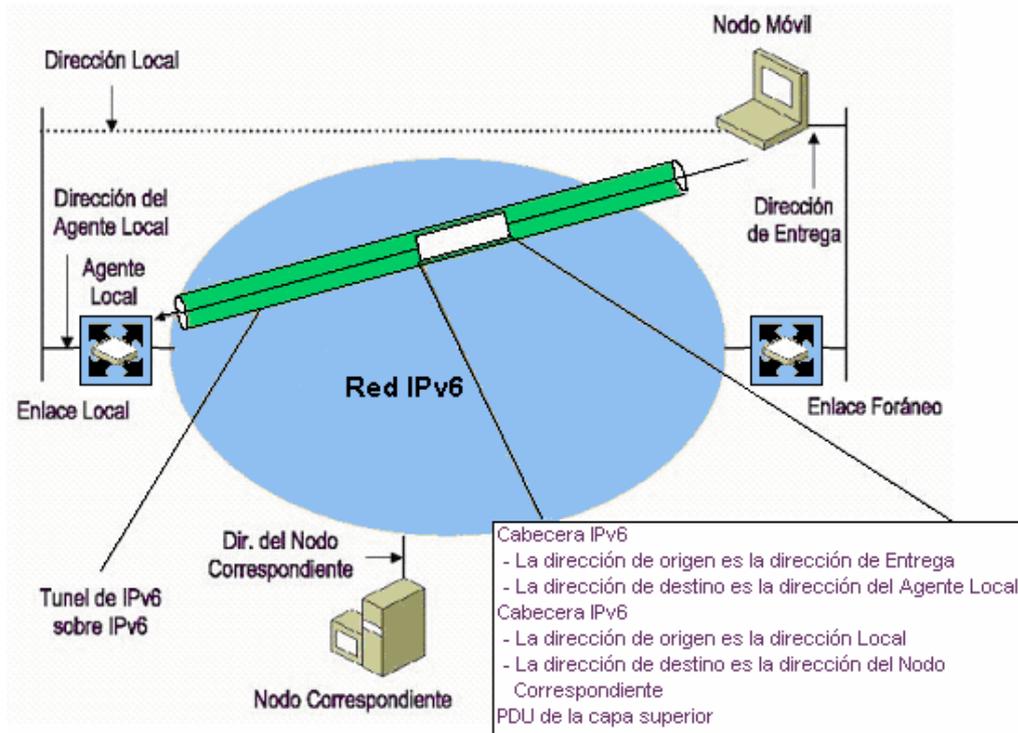
Si se requiere, el agente local puede proteger los paquetes utilizando IPsec ESP. En este caso, una cabecera de ESP se inserta entre las dos cabeceras IPv6 (Esto no se muestra en la *Figura 2. 15*).

**Figura 2. 15:** El agente local intercepta un paquete y lo dirige hacia el nodo móvil



Cuando un proceso de Registro de Correspondencia no se ha completado o el nodo correspondiente no soporta IPv6 móvil, el nodo móvil que no se encuentra en su lugar de origen envía los paquetes hacia el nodo correspondiente por medio del agente local, como se muestra en la *Figura 2. 16*.

Figura 2. 16. El nodo móvil envía los paquetes por medio del agente local



Estos paquetes contienen lo siguiente:

- **Cabecera de IPv6 (exterior)**

En la cabecera exterior, la dirección de origen es la dirección de entrega del nodo móvil y la dirección de destino es la dirección del agente local en el enlace local.

- **Cabecera de IPv6 (interior)**

En la cabecera interior, la dirección de origen es la dirección local del nodo móvil y la dirección de destino es la dirección del nodo correspondiente.

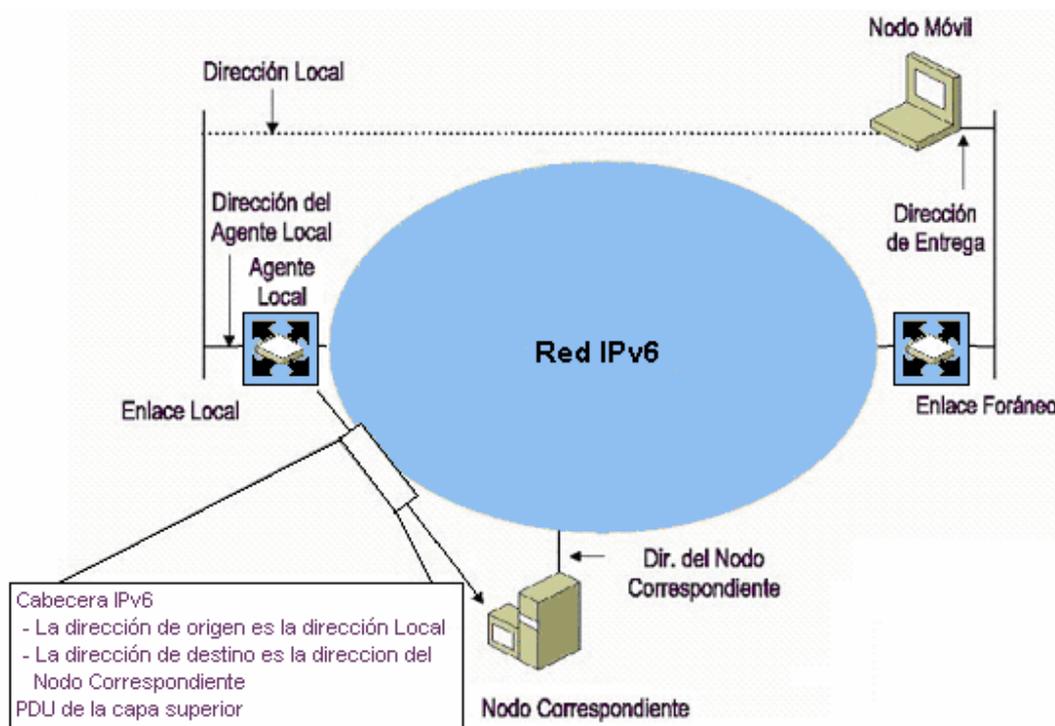
- **PDU de capa superior**

Contiene los datos de la capa de Aplicación enviados desde el nodo móvil al nodo correspondiente.

Si se requiere, el nodo móvil puede proteger los paquetes utilizando IPsec ESP. En este caso, una cabecera de ESP se inserta entre las dos cabeceras IPv6 (Esto no se muestra en la Figura 2. 16).

El agente local redirige los paquetes enviados desde el nodo móvil que no se encuentra en su lugar de origen hacia el nodo correspondiente como se muestra en la *Figura 2. 17*.

**Figura 2. 17:** El agente local redirige los paquetes hacia el nodo correspondiente



Estos paquetes contienen lo siguiente:

- **Cabecera de IPv6**

En esta cabecera, la dirección de origen es la dirección local del nodo móvil y la dirección de destino es la dirección del nodo correspondiente.

- **PDU de capa superior**

Contiene los datos de la capa de Aplicación enviados al nodo correspondiente por el nodo móvil.

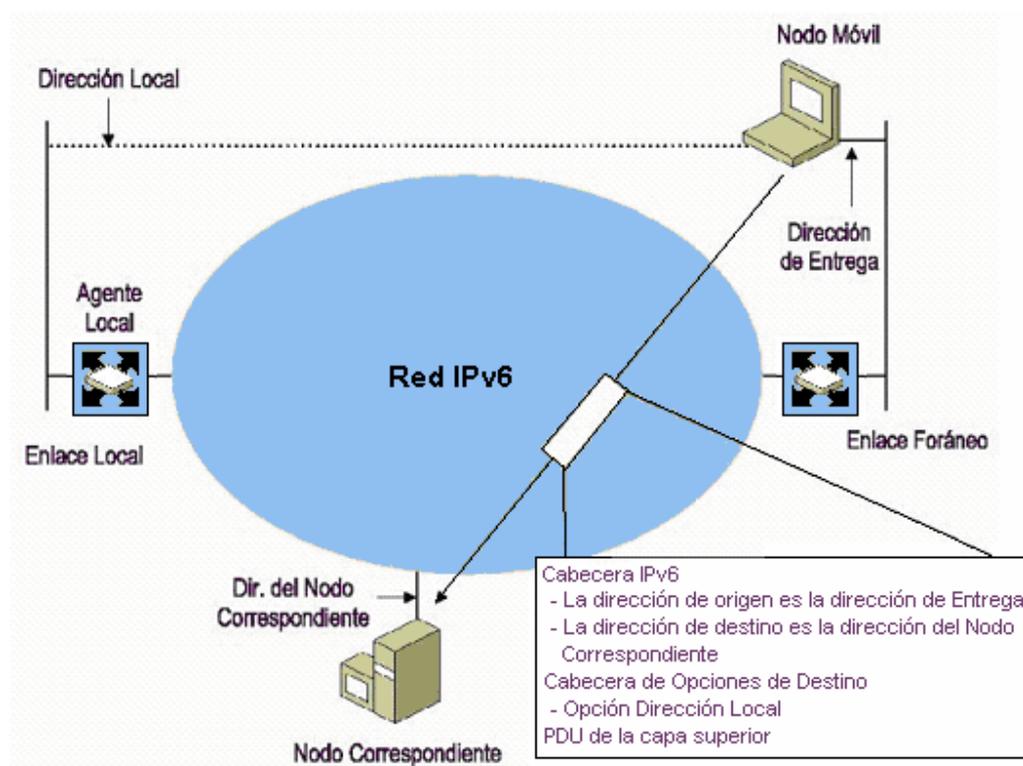
➤ **ENTREGA DIRECTA**

Cuando un nodo móvil no se encuentra en su lugar de origen, puede escoger entre enviar datos desde su dirección local a través de IPv6 móvil o enviarlos desde su dirección de entrega basándose en lo siguiente:

- Cuando se transmiten datos de conexión de la capa de transporte (Por ejemplo las sesiones de TCP) durante un largo periodo de tiempo y son enviados a nodos correspondientes en los que se ha completado el Registro de Correspondencia, el nodo móvil envía los datos desde su dirección local e incluye la opción Dirección local.
- Para comunicaciones mas cortas que no requieren de una conexión lógica, como el intercambio de solicitudes y respuestas a las solicitudes del nombre de DNS, el nodo móvil puede enviar los datos desde su dirección de entrega y no utilizar la opción Dirección local. En este caso, el nodo móvil envía y recibe los paquetes normalmente desde su dirección de entrega.

La *Figura 2. 18* muestra como un nodo móvil envía paquetes directamente a un nodo correspondiente cuando el nodo móvil tiene la dirección del nodo correspondiente registrada en su lista de actualizaciones de asociación.

**Figura 2. 18:** Un nodo móvil envía paquetes directamente a un nodo correspondiente



Estos paquetes contienen lo siguiente:

- **Cabecera de IPv6**

En esta cabecera, la dirección de origen es la dirección de entrega del nodo móvil y la dirección de destino es la dirección del nodo correspondiente. Al utilizar la dirección de entrega en lugar de la dirección local, el filtrado de ingresos del enlace foráneo no previene el envío de los paquetes.

- **Cabecera de Opciones de Destino**

En esta cabecera, la opción Dirección local contiene la dirección local del nodo móvil. Cuando el nodo correspondiente procesa esta opción, reemplaza la dirección de origen del paquete con la dirección local.

- **PDU de capa superior**

Contiene los datos de la capa de Aplicación enviados al nodo correspondiente por el nodo móvil. Desde la perspectiva de la capa de aplicación, los datos fueron enviados desde la dirección local del nodo móvil hacia la dirección del nodo correspondiente.

---

**Nota:** En los dibujos de este documento se asume que los paquetes que se envían por los nodos móvil y correspondiente no contienen cabeceras de extensión IPv6 adicionales.

---

Si el nodo correspondiente también es un nodo móvil fuera de su lugar de origen, a la dirección de destino en la cabecera IPv6 se le asigna la dirección de entrega del nodo y el paquete incluye una cabecera de enrutamiento de tipo 2 que contiene la dirección local del nodo correspondiente. La Cabecera de Enrutamiento Tipo 2 se coloca antes de la cabecera de opciones de destino, lo que no se muestra en la *Figura 2. 18*.

La *Figura 2. 19* muestra el proceso de envío de paquetes desde un nodo correspondiente hacia un nodo móvil cuando el nodo correspondiente tiene registrada la dirección local del nodo móvil en su caché de asociaciones.

Estos paquetes contienen lo siguiente:

- **Cabecera de IPv6**

En esta cabecera, la dirección de origen es la dirección del nodo correspondiente y la dirección de destino es la dirección de entrega del nodo móvil. Al utilizar la dirección de entrega en lugar de la dirección local, el paquete se entrega en la posición actual del nodo móvil en la red IPv6.

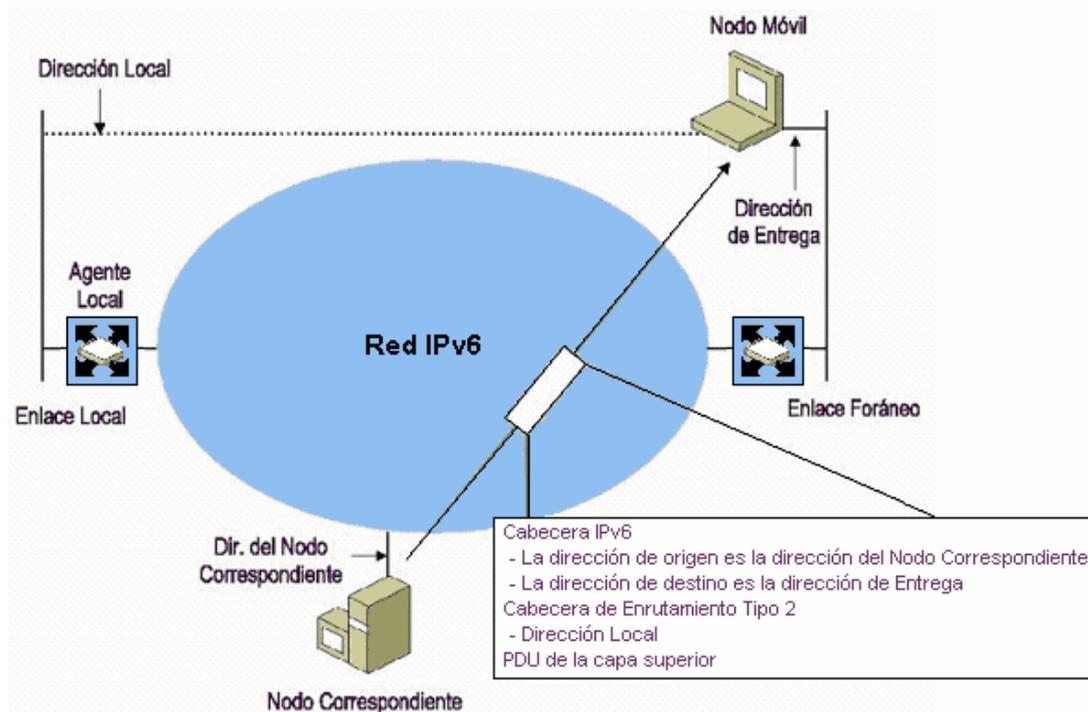
- **Cabecera de Enrutamiento de Tipo 2**

En esta cabecera, el campo de Dirección local contiene la dirección local del nodo móvil. Cuando el nodo móvil recibe el paquete, quita la cabecera de tipo 2 y le asigna a la dirección de destino de la cabecera IPv6 la dirección local en lugar de la dirección de entrega que tenía anteriormente. Cuando el paquete sube al protocolo de la capa superior, aparenta haber sido enviado a la dirección local del nodo móvil.

- **PDU de capa superior**

Contiene los datos de la capa de Aplicación enviados al nodo móvil por el nodo correspondiente. Desde la perspectiva de la capa de aplicación, los datos fueron enviados desde la dirección del nodo correspondiente hacia la dirección local del nodo móvil.

**Figura 2. 19:** Un nodo correspondiente envía paquetes cuando tiene registrada la dirección local del nodo móvil en su caché de asociaciones



Si el nodo correspondiente también es un nodo móvil fuera de su lugar de origen, a la dirección de origen en la cabecera IPv6 se le asigna la dirección de entrega del nodo y el paquete incluye una cabecera de opciones de destino que contiene la dirección local del nodo correspondiente en una opción Dirección local. La cabecera de opciones de destino se coloca antes de la cabecera de tipo 2, lo que no se muestra en la *Figura 2. 19*.

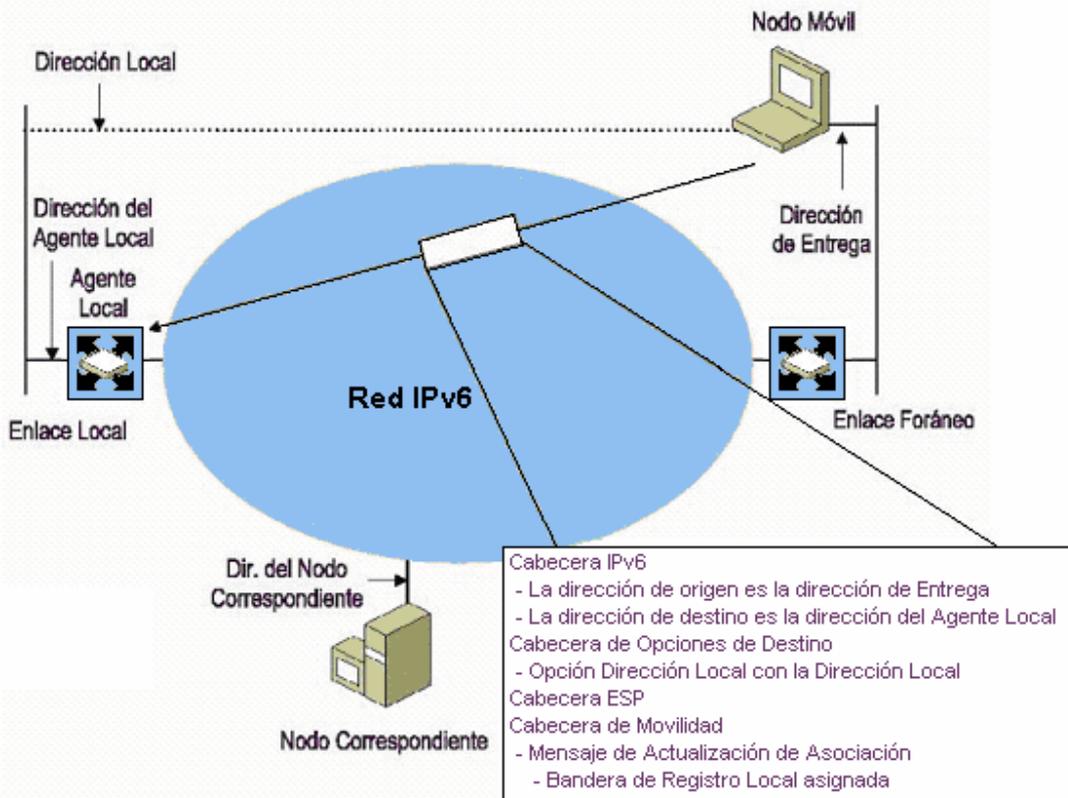
### 2.6.2. Mantenimiento de asociaciones (Binding Maintenance)

Las asociaciones con el agente local y el nodo correspondiente deben ser creadas, refrescadas y cuando el nodo móvil regresa a su lugar de origen, removidas. Las asociaciones deben ser mantenidas tanto con el agente local como con los nodos correspondientes.

#### ➤ Mantenimiento de asociaciones para el agente local (Home Agent Binding Maintenance)

La *Figura 2. 20* muestra los mensajes de actualización obligatoria enviados desde el nodo móvil al agente local para realizar un registro local.

*Figura 2. 20: Mensajes de actualización de asociación enviados desde el nodo móvil al agente local*



Estos paquetes contienen lo siguiente:

- **Cabecera de IPv6**

En esta cabecera, la dirección de origen es la dirección de entrega del nodo móvil y la dirección de destino es la dirección del agente local. Al utilizar la dirección de

entrega en lugar de la dirección local, el filtrado de ingresos del enlace foráneo no evita el envío de los paquetes.

- **Cabecera de Opciones de Destino**

Esta cabecera contiene la opción Dirección local. Mediante esta opción, el agente local puede conocer la dirección local de la asociación.

- **Cabecera ESP**

Esta cabecera de tipo IPsec ESP se utiliza para proteger la integridad de los datos, autenticar su origen y asegurar su confidencialidad y para la protección en contra de la reutilización del mensaje de actualización de asociación.

- **Cabecera de Movilidad**

Esta cabecera contiene el mensaje de actualización de asociación con la bandera de Registro Local (H) con un valor de 1 indicando que el emisor solicita que el receptor sea el agente local del nodo móvil. A la bandera de Confirmación (A) también se le asigna un 1 al responder al mensaje con un confirmación de actualización de asociación enviado por el agente local.

Los mensajes de Mantenimiento de asociaciones que se envían desde el agente local hacia el nodo móvil pueden ser confirmaciones de actualizaciones de asociación (binding acknowledgement) o solicitudes de renovación de asociación (binding refresh request), como se muestra en la *Figura 2. 21*.

Estos paquetes contienen lo siguiente:

- **Cabecera de IPv6**

En esta cabecera, la dirección de origen es la dirección del agente local y la dirección de destino es la dirección de entrega del nodo móvil.

- **Cabecera de Enrutamiento de Tipo\_2**

Esta cabecera contiene la dirección local del nodo móvil. Cuando el nodo móvil quita la cabecera de tipo 2, reemplaza lógicamente la dirección de destino de la cabecera IPv6 con la dirección local.

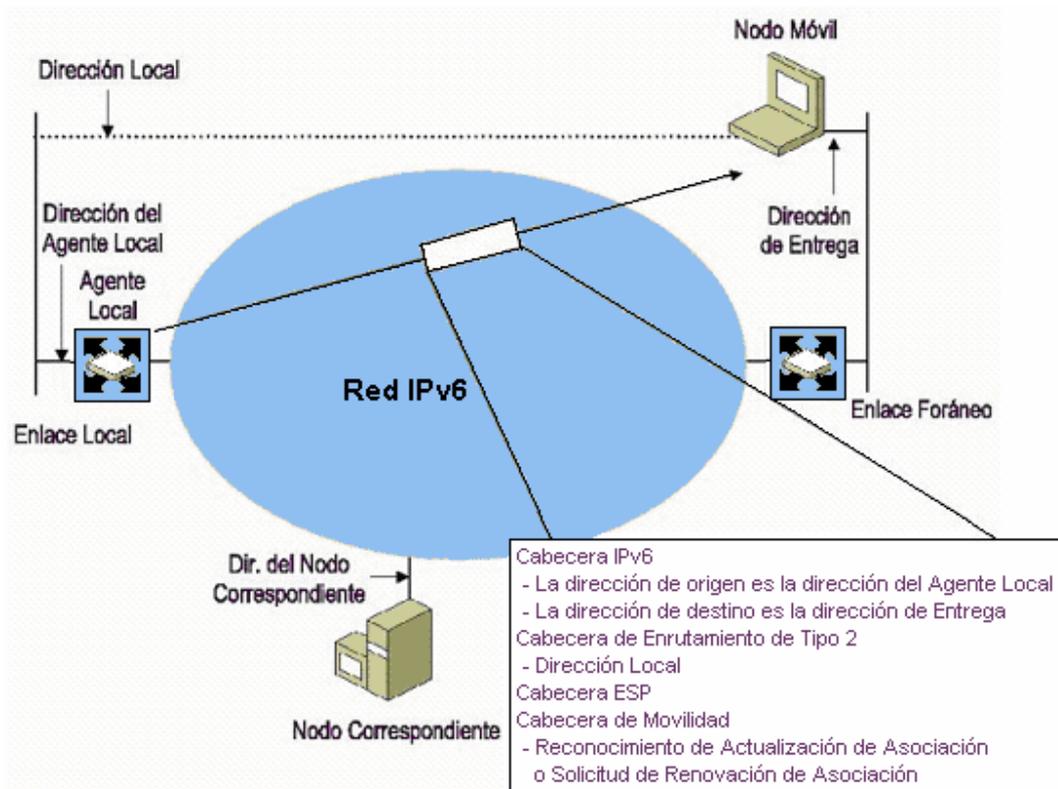
- **Cabecera ESP**

Esta cabecera de tipo IPsec ESP se utiliza para proteger la integridad de los datos, autenticar su origen y asegurar su confidencialidad y para la protección en contra de la reutilización de los mensajes de confirmación de actualización de asociación o de solicitud de renovación de asociación.

- **Cabecera de Movilidad**

Esta cabecera contiene un mensaje confirmación de actualización de asociación (enviado como respuesta a una actualización de asociación) o uno de solicitud de renovación de asociación.

**Figura 2. 21:** Los mensajes de Mantenimiento de asociaciones que se envían desde el agente local hacia el nodo móvil



➤ **Mantenimiento de asociaciones para el nodo correspondiente**

La *Figura 2. 22* muestra los mensajes de actualización obligatoria enviados desde un nodo móvil hacia el nodo correspondiente como parte de un registro de correspondencia (correspondent registration)

Estos paquetes contienen lo siguiente:

- **Cabecera de IPv6**

En esta cabecera, la dirección de origen es la dirección de entrega del nodo móvil y la dirección de destino es la dirección del nodo correspondiente. Al utilizar la

dirección de entrega en lugar de la dirección local, el filtrado de ingresos del enlace foráneo no evita el envío de los paquetes.

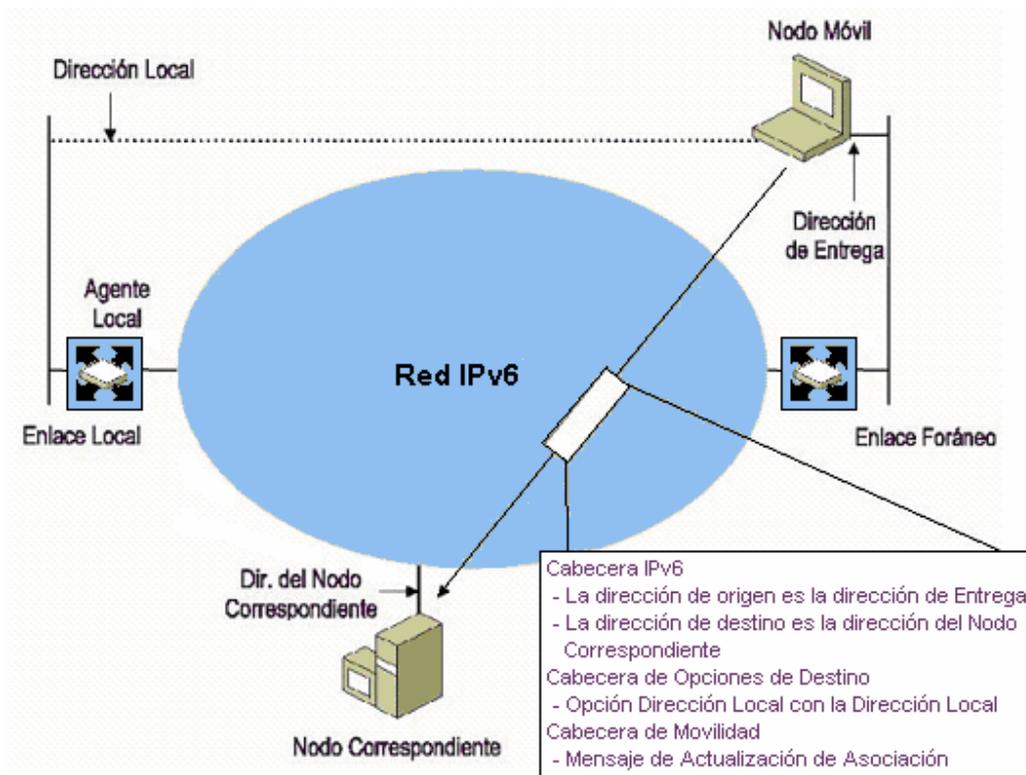
- **Cabecera de Opciones de Destino**

Esta cabecera contiene la opción Dirección local. Mediante esta opción, el nodo correspondiente puede ver la dirección local de la asociación.

- **Cabecera de Movilidad**

Esta cabecera contiene el mensaje de actualización de asociación, que incluye evidencia encriptada de que el nodo móvil conoce la llave de manejo de actualizaciones derivada durante el procedimiento de prueba de enrutamiento, realizado con el nodo correspondiente.

**Figura 2. 22:** Mensajes de actualización de asociación enviados desde un nodo móvil hacia el nodo correspondiente.

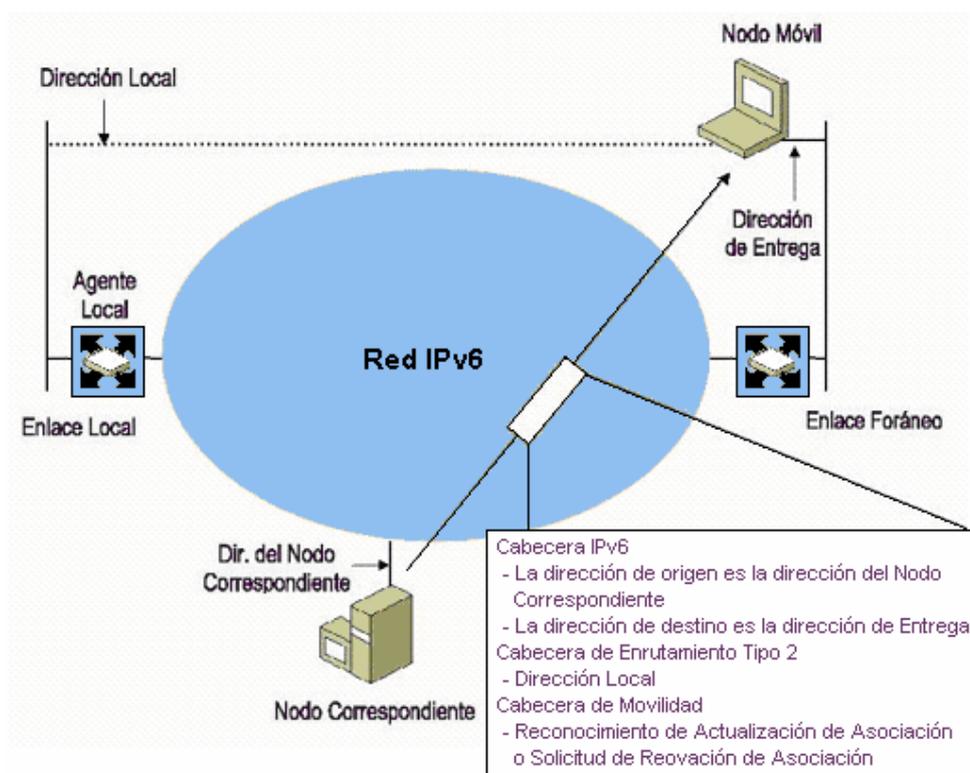


Si el nodo correspondiente es también un nodo móvil fuera de su lugar de origen, a la dirección de destino en la cabecera IPv6 se le asigna la dirección de entrega del nodo

correspondiente y se incluye una cabecera de enrutamiento de tipo 2 que contenga su dirección local. Esta cabecera se coloca antes de la de opciones de destino, lo que no se muestra en la *Figura 2. 22*.

Los mensajes de mantenimiento de asociaciones que se pueden enviar desde un nodo correspondiente hacia un nodo móvil pueden ser actualizaciones de asociación o solicitudes de renovación de asociación, como se muestra en la *Figura 2. 23*.

**Figura 2. 23:** Los mensajes de mantenimiento de asociaciones que se pueden enviar desde un nodo correspondiente hacia un nodo móvil



Estos paquetes contienen lo siguiente:

- **Cabecera de IPv6**

En esta cabecera, la dirección de origen es la dirección del nodo correspondiente y la dirección de destino es la dirección de entrega del nodo móvil.

- **Cabecera de Enrutamiento de Tipo 2**

En esta cabecera, el campo de Dirección local contiene la dirección local del nodo móvil. Cuando el nodo móvil recibe el paquete, quita la cabecera de tipo 2 y le

asigna a la dirección de destino de la cabecera IPv6 la dirección local en lugar de la dirección de entrega que tenía anteriormente. Cuando el paquete sube al protocolo de la capa superior, aparenta haber sido enviado a la dirección local del nodo móvil.

- **Cabecera de Movilidad**

Esta cabecera contiene un mensaje confirmación de actualización de asociación (si la actualización de asociación tenía la bandera de Confirmación (A) con un valor de 1) o uno de solicitud de renovación de asociación.

Si el nodo correspondiente es también un nodo móvil fuera de su lugar de origen, a la dirección de origen en la cabecera IPv6 se le asigna la dirección de entrega del nodo y el paquete incluye una cabecera de opciones de destino con una opción de Dirección local que contiene la dirección local del nodo correspondiente. La cabecera de opciones de destino se coloca después de la de tipo 2, lo que no se muestra en la *Figura 2. 23*.

### 2.6.3. DESCUBRIMIENTO DE AGENTES LOCALES

Un nodo móvil envía un mensaje ICMPv6 de Solicitud de descubrimiento de dirección del agente local (Home Agent Address Discovery Request message) como se muestra en la *Figura 2. 24*.

Estos paquetes contienen lo siguiente:

- **Cabecera de IPv6**

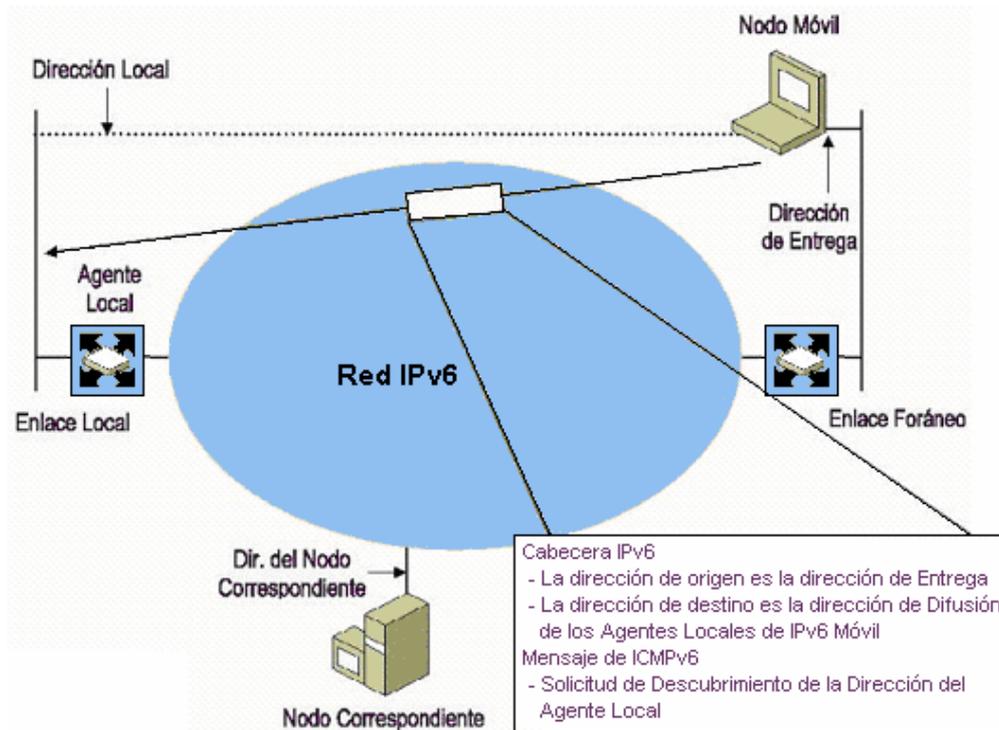
En esta cabecera, la dirección de origen es la dirección de entrega del nodo móvil y la dirección de destino es la dirección de difusión (anycast address) de los agentes locales de IPv6 móvil que corresponda con el prefijo del enlace local.

- **Mensaje de Solicitud de descubrimiento de dirección del agente local de ICMPv6**

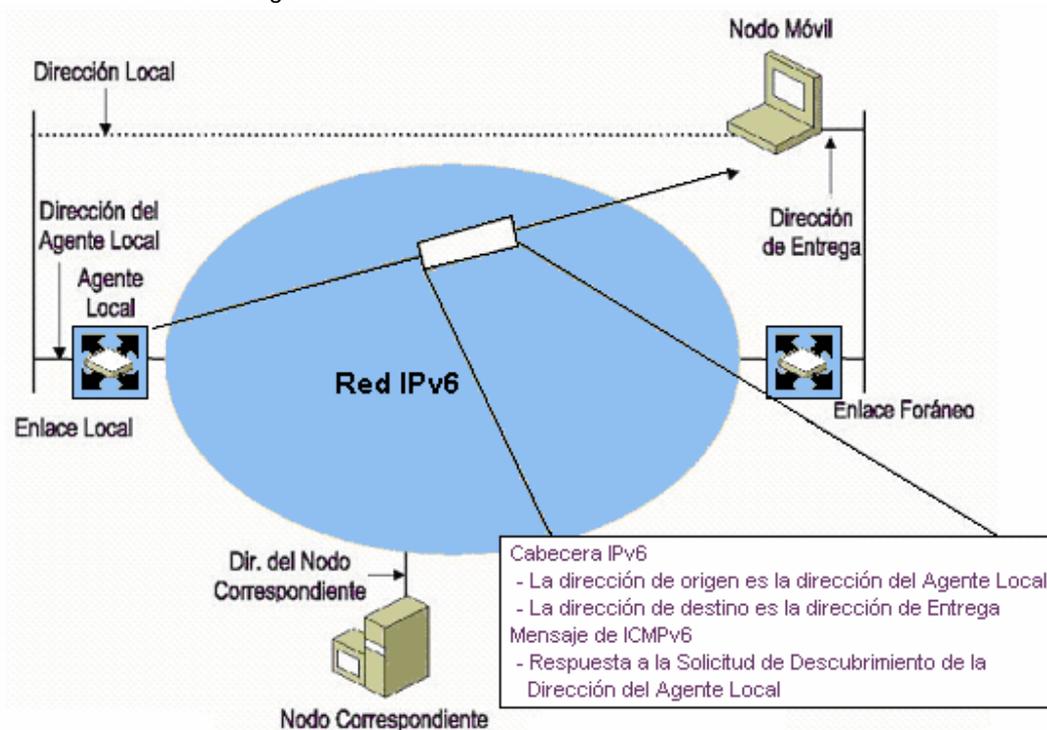
El nodo móvil utiliza este mensaje para recuperar una lista de agentes locales en su enlace local. Para más información, véase la sección “Mensajes de ICMPv6” en este documento.

Un agente local envía un mensaje ICMPv6 de Respuesta a la solicitud de descubrimiento de dirección del agente local como se muestra en la *Figura 2. 25*.

**Figura 2. 24:** Un nodo móvil envía un mensaje ICMPv6 de Solicitud de descubrimiento de dirección del agente local



**Figura 2. 25:** Un agente local envía un mensaje ICMPv6 de Respuesta a la solicitud de descubrimiento de dirección del agente local



Estos paquetes contienen lo siguiente:

- **Cabecera de IPv6**

En esta cabecera, la dirección de origen es la dirección del agente local y la dirección de destino es la dirección de entrega del nodo móvil.

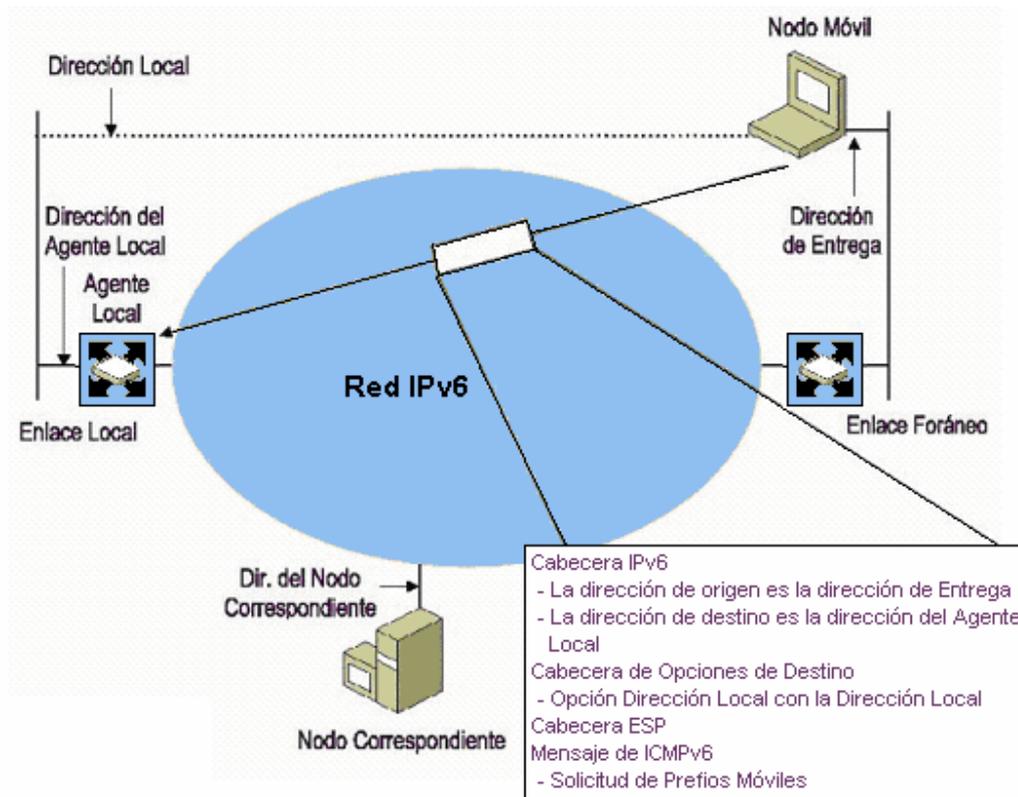
- **Mensaje de Respuesta a la solicitud de descubrimiento de dirección del agente local de ICMPv6**

Este mensaje contiene una lista de agentes locales en el enlace local ordenados por valor de preferencia. Para más información, véase la sección “Mensajes de ICMPv6” en este documento.

### 2.6.4. DESCUBRIMIENTO DE PREFIJOS MOVILES

Un nodo móvil envía un mensaje ICMPv6 de solicitud de prefijos móviles como se muestra en la *Figura 2. 26*.

*Figura 2. 26: Un nodo móvil envía un mensaje ICMPv6 de solicitud de prefijos móviles.*



Estos paquetes contienen lo siguiente:

- **Cabecera de IPv6**

En esta cabecera, la dirección de origen es la dirección de entrega del nodo móvil y la dirección de destino es la dirección global del agente local dentro del enlace local.

- **Cabecera de Opciones de Destino**

Esta cabecera contiene la opción Dirección local. Mediante esta opción, el agente local puede conocer la dirección local de la asociación.

- **Cabecera ESP**

Esta cabecera de tipo IPsec ESP se utiliza para proteger la integridad de los datos, autenticar su origen y asegurar su confidencialidad y para la protección en contra de la reutilización del mensaje de solicitud de prefijos móviles de ICMPv6.

- **Mensaje de solicitud de prefijos móviles de ICMPv6**

El nodo móvil utiliza este mensaje para obtener de su agente local el prefijo de subred local actual. Para más información, véase la sección "Mensajes de ICMPv6" en este documento.

Un agente local envía un mensaje de anuncio de prefijos móviles de ICMPv6, ya sea como respuesta a una solicitud de prefijos o como uno de los envíos periódicos realizados para refrescar la dirección local del nodo móvil. Esto se muestra en la *Figura 2. 27*.

Estos paquetes contienen lo siguiente:

- **Cabecera de IPv6**

En esta cabecera, la dirección de origen es la dirección del agente local en el enlace local y la dirección de destino es la dirección de entrega del nodo móvil.

- **Cabecera de Enrutamiento de Tipo 2**

Esta cabecera contiene la dirección local del nodo móvil. Cuando el nodo móvil quita la cabecera de tipo 2, reemplaza lógicamente la dirección guardada en la dirección de destino de la cabecera IPv6 (dirección de entrega) con la dirección local.

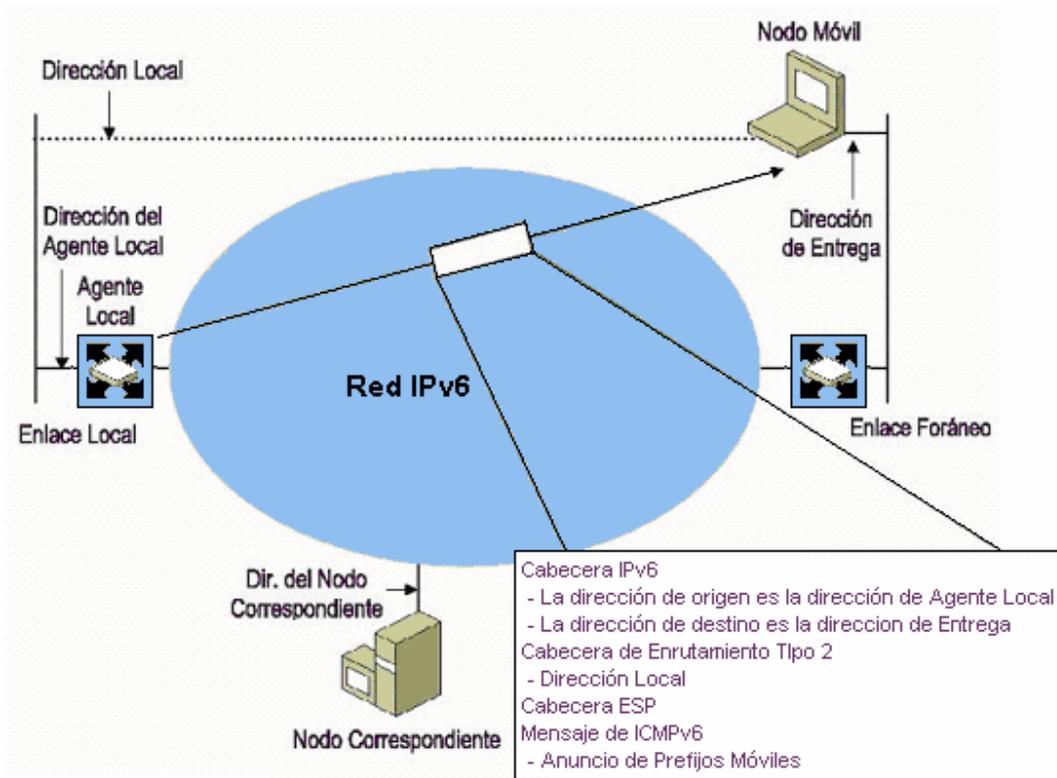
- **Cabecera ESP**

Esta cabecera de tipo IPsec ESP se utiliza para proteger la integridad de los datos, autenticar su origen y asegurar su confidencialidad y para la protección en contra de la reutilización del mensaje de anuncio de prefijos móviles de ICMPv6.

- **Mensaje de anuncio de prefijos móviles de ICMPv6**

Este mensaje contiene el prefijo de la subred local. Para más información, véase la sección “Mensajes de ICMPv6” en este documento.

**Figura 2. 27:** Un agente local envía un mensaje ICMPv6 de anuncio de prefijos móviles



## 2.7. PROCESOS DE MIPV6

IPv6 proporciona un método mediante el cual un nodo móvil puede determinar si se encuentra en su enlace local, al igual que proporciona intercambios de mensajes para los siguientes procedimientos:

- Moverse desde el enlace local a un enlace foráneo.
- Moverse desde un enlace foráneo a otro enlace foráneo.
- Regresar al lugar de origen.

Además, tanto el host emisor como el host receptor son modificados para que incluyan soporte de procesamiento especial para movilidad.

---

**Nota:** Esta sección asume que el nodo correspondiente no es un nodo móvil fuera de su lugar de origen.

---

### 2.7.1. Formando parte del enlace local

El método utilizado por un nodo móvil para determinar si se encuentra o no en su enlace local no se encuentra definido en el RFC 3775. Si el nodo móvil determina que se encuentra conectado a su enlace local, puede guardar los valores del prefijo de subred, la dirección local y la dirección global del agente local. Los siguientes métodos de configuración de los parámetros del enlace local se basan en implementaciones aún en desarrollo o que ya existían en el momento que se escribió este documento:

- **Configuración manual**

Es el caso más simple de configuración y sucede cuando los valores del prefijo de subred, la dirección local y la dirección del agente local se asignan manualmente, normalmente a través de un comando de teclado. Los valores son permanentes hasta que se reconfiguran manualmente. Estas implementaciones no ofrecen soporte para el descubrimiento dinámico de agentes locales o de cambios en el prefijo de la subred local.

- **Configuración semiautomática**

Bajo esta configuración, si el nodo móvil se encuentra en algún enlace, el usuario tiene la opción (normalmente aparece como un botón en la interfaz de usuario del sistema operativo) de indicarle al protocolo IPv6 que el nodo se encuentra conectado a su enlace local. Basándose en esta indicación, el protocolo IPv6 guarda los valores del prefijo del enlace de la subred local y la dirección local y espera cualquier mensaje de anuncio de enrutadores que contenga la bandera Agente local (H) con un valor de 1. El agente local será el enrutador de más alta preferencia que se anuncie con capacidades de agente local. Una vez elegido, el protocolo IPv6 guarda la dirección del agente local. Estas implementaciones pueden o no ofrecer soporte para el descubrimiento dinámico de agentes locales o de cambios en el prefijo de la subred local.

- **Configuración automática**

Con esta configuración, el nodo IPv6 se encuentra siempre a la espera de mensajes en los que la bandera H tenga un valor de 1. Basándose en protocolos adicionales o en parámetros propios al sistema operativo, el nodo IPv6 determina si un enlace puede ser potencialmente su enlace local. Después, escoge el agente local de más alta preferencia y trata de establecer una relación de seguridad con el. Si la relación de seguridad con el agente local falla, el nodo IPv6 no se encuentra en su enlace local. Si la relación funciona, el nodo IPv6 guarda su prefijo de subred local, su dirección local y la dirección de su agente local, ya que se encuentra en su enlace local. Estas implementaciones pueden o no brindar soporte para el descubrimiento dinámico de agentes locales o de cambios en el prefijo de la subred local.

### 2.7.2. Desplazándose desde el enlace local a un enlace foráneo

Cuando el nodo móvil se encuentra en su lugar de origen, autoconfigura su dirección local mediante la recepción de un anuncio de enrutadores y la comunicación con otros nodos se realiza normalmente sin la utilización de IPv6 móvil.

➤ **Formando parte de un enlace foráneo**

Cuando el nodo móvil llega a un enlace foráneo, debe realizar los siguientes procedimientos.

- Obtener una nueva dirección de entrega.
- Descubrir un agente local en el enlace local (si es necesario).
- Darle a conocer su dirección de entrega primaria al agente local seleccionado en el enlace local.

Cuando el nodo móvil ya se encuentra en el nodo foráneo, sucede lo siguiente:

1. El nodo móvil envía un mensaje por multidifusión de Solicitud de enrutadores (router solicitation) en el enlace foráneo. También se podría enviar uno de estos mensajes si la capa de enlace indica que ocurrió un cambio en los medios o si el nodo recibió un anuncio de enrutadores que contenía un nuevo prefijo de red. Dependiendo de cómo está implementado IPv6 Móvil, el nodo móvil puede enviar la solicitud de enrutadores desde su dirección de enlace local (link-local address), asumiendo que esta dirección sea única dentro del enlace foráneo, o desde la dirección no especificada (::), asumiendo que la dirección de enlace local no es única dentro del enlace foráneo.
2. Todos los enrutadores en el enlace foráneo responden con un mensaje de Anuncio de enrutadores. Dependiendo del valor de la dirección de origen en el mensaje de solicitud de enrutadores, la respuesta puede ser enviada por difusión normal (si la solicitud de enrutadores se envió desde la dirección de enlace local) o por multidifusión (si la solicitud se envió desde la dirección no especificada). La *Figura 2. 28* muestra el envío del anuncio de enrutadores hacia el nodo móvil. La autoconfiguración y registro *stateless* de las direcciones de multidifusión para

solicitud de nodos dentro del enlace foráneo ocasiona algo de latencia en el proceso de obtener una dirección de entrega válida.

Cuando recibe el(los) mensaje(s) de anuncio de enrutadores, el nodo móvil establece que se encuentra conectado a un enlace foráneo ya que los anuncios de enrutadores contienen prefijos de red nuevos o desconocidos. El nodo móvil elabora una dirección de entrega con los prefijos anunciados, verifica que sea única mediante la detección de direcciones duplicadas (duplicate address detection) y se une a los grupos de multidifusión para solicitud de nodos que le corresponden, lo que no se muestra en la *Figura 2. 28*.

3. Si el nodo móvil tiene configurado el valor de la dirección de su agente local, vaya al paso 5. Si no, para establecer la dirección de un agente local en el enlace local de un nodo móvil, el nodo utiliza el proceso de descubrimiento de agentes locales. Los nodos móviles no mantienen una lista de agentes locales mientras están conectados al enlace local. Para descubrir automáticamente los agentes en el enlace local, solo se necesita que el nodo móvil sepa su prefijo de subred. Cuando un nodo móvil que utiliza configuración automática de agentes locales deja su enlace local y se acerca al primer enlace foráneo, envía un mensaje de Solicitud de descubrimiento de dirección del agente local de ICMPv6 formado con el prefijo de subred local a la dirección de difusión de agentes locales de IPv6 móvil.
4. Un agente local que se encuentre en el enlace local, que este utilizando la dirección de difusión de agentes locales de IPv6 móvil que corresponda con el prefijo de subred local y que esté topológicamente más cerca del nodo móvil recibe el mensaje de Solicitud de descubrimiento de dirección del agente local de ICMPv6. Acto seguido, envía un mensaje de Respuesta a la solicitud de descubrimiento de dirección del agente local de ICMPv6 que contenga los registros de la lista de agentes locales del agente local ordenados por preferencia. Cuando recibe la respuesta, el nodo móvil selecciona al primer agente de la lista como su agente local.
5. Antes de que se envíe una actualización de asociación, se debe crear una asociación de seguridad de IPsec (SA) entre el nodo móvil y el agente local. Si el nodo móvil y el agente local ofrecen soporte para el Intercambio de Claves de Internet (Internet Key Exchange *IKE*) de IPv6 móvil, entonces una negociación de IKE ocurre para crear las asociaciones SA necesarias para proteger por medio de ESP los paquetes enviados por el nodo móvil y el agente local. La negociación de IKE no se muestra en la *Figura 2. 28*.

Si el nodo móvil y el agente local tienen soporte para el envío de actualizaciones de asociación sin utilizar la protección o sin el uso de la configuración manual de asociaciones SA de IPsec, entonces este paso se salta.

6. Para registrar la dirección de entrega primaria del nodo móvil en el agente local, el nodo envía una actualización de asociación al agente local. En la actualización se encontraran las banderas de Registro local (H) y de Confirmación (A).

7. El agente local recibe la actualización de asociación y actualiza su caché de asociaciones. Para interceptar los paquetes dirigidos a la dirección local del nodo cuando se encuentra fuera de su lugar de origen, el agente local realiza una detección de direcciones duplicadas y utiliza descubrimiento de vecinos por Proxy (Proxy ND) buscando el nodo móvil basándose en las respuestas que da a las solicitudes de vecinos que recibe en nombre del nodo. Dependiendo de la implementación existente, un agente local puede o no responder inmediatamente a las solicitudes de vecinos multidifundidas que busquen la dirección local del nodo móvil. La detección de direcciones duplicadas y de Proxy ND añade latencia adicional al proceso de Registro local.

En el primer caso, para asegurar que los nodos en el enlace local son actualizados con la nueva dirección de la capa de enlace (link-layer address) de la interfaz del agente local en el enlace local, el agente envía un mensaje no solicitado de anuncio de vecinos por multidifusión a la dirección de multidifusión hacia todos los nodos del ámbito de la localidad del enlace (link-local scope all-nodes multicast address) (FF02::1) asignándole a la bandera de Anular (Override O) un valor de 1. Adicionalmente, el agente local se une al grupo de multidifusión de direcciones de multidifusión para solicitud de nodos que corresponda a la dirección local del nodo móvil y registra interés en recibir tramas por multidifusión de capas de enlace en la dirección de multidifusión MAC que corresponde con la dirección de multidifusión para solicitud de nodos, como se muestra en la *Figura 2. 28*.

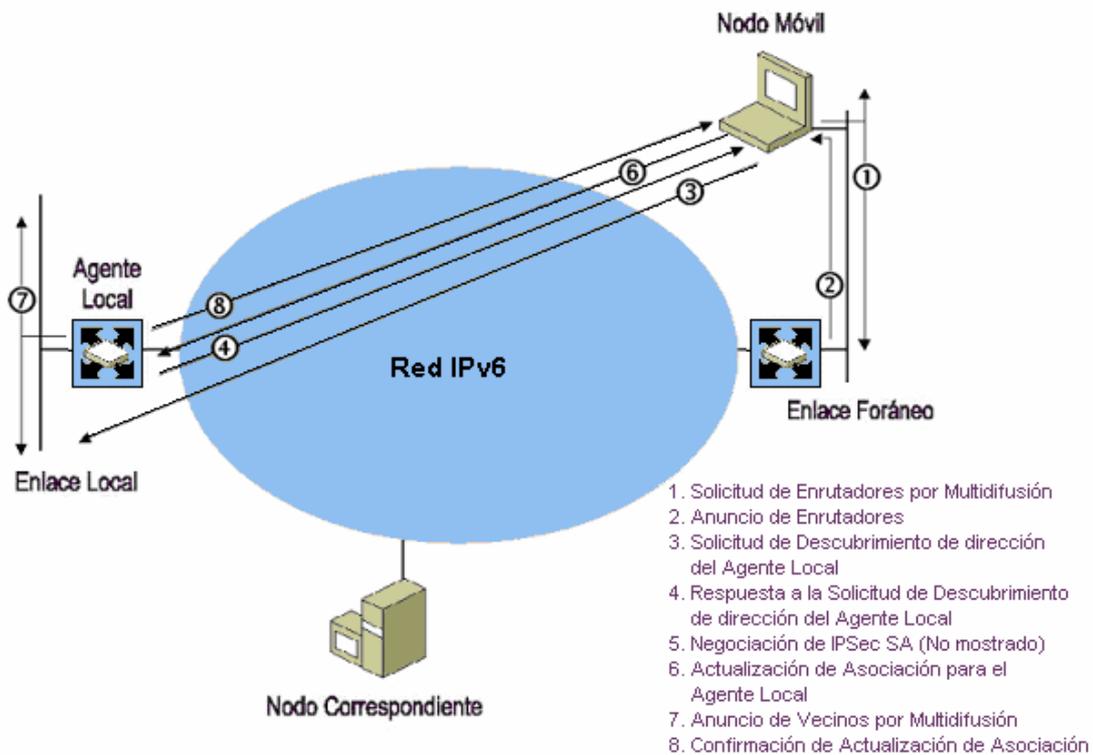
En el segundo caso, el agente local no envía un mensaje no solicitado de anuncio de vecinos. Sin embargo, el agente local si se une al grupo de multidifusión de direcciones de multidifusión para solicitud de nodos que corresponda a la dirección local del nodo móvil y registra interés en recibir tramas por multidifusión de capas de enlace en la dirección de multidifusión MAC que corresponde con la dirección de multidifusión para solicitud de nodos. Si un nodo en el enlace local se estaba comunicando con el nodo móvil mientras se encontraba en el enlace, la detección de inaccesibilidad de vecinos (neighbor unreachability detection) eventualmente causaría que el nodo local envíe tres solicitudes de vecinos (mientras está en estado PROBE) y luego envíe una solicitud de vecinos por multidifusión. El agente local responde a la solicitud en lugar del nodo móvil, lo que no se muestra en la *Figura 2. 28*.

Si el nodo móvil tiene asignado un valor de 1 en la bandera de Compatibilidad de dirección de la localidad del enlace (Link-Local Address Compatibility L) en la actualización de asociación, el agente local también realiza una detección de direcciones duplicadas y Proxy ND en búsqueda de la dirección de la localidad de enlace asociada con el identificador de interfaz (los últimos 64 bits) de la dirección local del nodo móvil.

8. Debido a que la bandera A de la actualización de asociación tiene un valor de 1, el agente local responde con una confirmación de actualización de asociación.

El proceso completo se muestra en la *Figura 2. 28*.

Figura 2. 28: Nodo móvil formando parte del primer enlace foráneo



Ya que no hay registros en la lista de actualizaciones de asociación, el nodo móvil no envía una actualización de asociación a todos los nodos con los que se estaba comunicando cuando se encontraba en el enlace local. El nodo móvil se basa en datos enviados posteriormente o en el tráfico redirigido por el agente local para iniciar el registro de correspondencia con los nodos correspondientes.

➤ **Inicio de comunicación entre el nodo móvil y un nuevo nodo correspondiente**

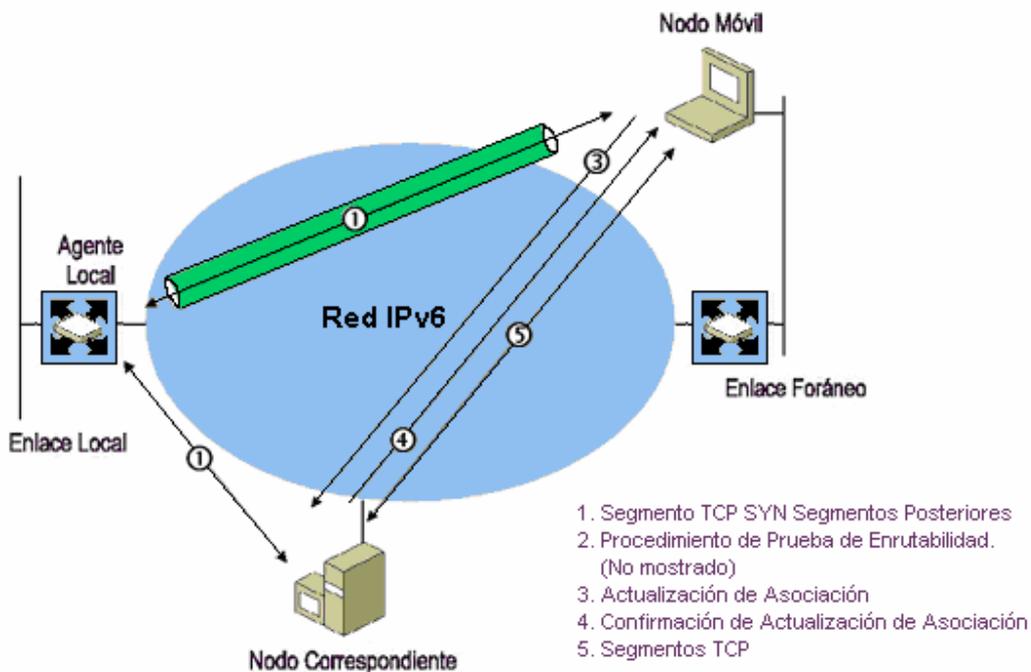
Cuando un nodo móvil trata de comunicarse con un nodo con el que no existe una asociación, debe primero realizar un registro de correspondencia, lo que consiste en realizar el procedimiento de prueba de enrutabilidad y enviar el mensaje de actualización de asociación y recibir la confirmación de actualización de asociación del nuevo nodo correspondiente. Aunque este proceso debe ocurrir siempre que un nodo móvil fuera de su lugar de origen comienza cualquier tipo de comunicación, el ejemplo que se presenta a continuación explica el caso con una conexión TCP.

Cuando un nodo móvil fuera de su lugar de origen comienza una conexión TCP con un nodo correspondiente, ocurre lo siguiente:

1. El nodo móvil comienza la conexión enviando el segmento inicial TCP SYN (sincronización) por medio del agente local al nodo correspondiente. Los paquetes de saludo de TCP posteriores y los datos iniciales de la comunicación entre el nodo móvil y el nodo correspondiente son enviados mediante tunelaje bidireccional hasta que el registro de correspondencia sea completado (ver el paso 5). Esto se hace para que una aplicación no tenga que esperar hasta que se complete el registro de correspondencia para comenzar a comunicarse.
2. El nodo móvil crea un registro asociado al nodo correspondiente en su lista de actualizaciones de asociación y ejecuta el procedimiento de prueba de enrutabilidad con el nodo correspondiente para determinar la llave de manejo de asociaciones, lo que no se muestra en la *Figura 2. 29*.
3. El nodo móvil envía un mensaje de actualización de asociación al nodo correspondiente en el que la bandera de Confirmación (A) tiene un valor de 1.
4. El nodo correspondiente actualiza su caché de asociaciones y envía un mensaje de confirmación de actualización de asociación al nodo móvil.
5. Después de que el registro de correspondencia se ha completado, los paquetes TCP enviados posteriormente dentro de la conexión son enviados directamente entre el nodo móvil y el nodo correspondiente.

El proceso completo se muestra en la *Figura 2. 29*.

**Figura 2. 29:** Inicio de una nueva conexión TCP entre el nodo móvil y un nuevo nodo correspondiente



Si el nodo móvil retoma una comunicación en una conexión TCP existente, entonces los segmentos de TCP son enviados mediante tunelaje bidireccional hasta que el registro de correspondencia se complete.

Después de que el registro de correspondencia ha sido completado, los datos transmitidos entre el nodo correspondiente y el nodo móvil se envían de la siguiente forma:

- Los datos enviados por el nodo móvil se envían desde su dirección de entrega hacia la dirección del nodo correspondiente e incluyen la opción Dirección local dentro de una cabecera de opciones de destino.
- Los datos enviados por el nodo correspondiente se envían a la dirección de entrega del nodo móvil e incluyen una cabecera de enrutamiento de tipo 2 con la dirección local del nodo móvil.

---

**Nota:** Si el nodo móvil soporta rastreo múltiple (multihomed), es posible que el nodo móvil registre diferentes direcciones de entrega para nodos correspondientes distintos. Cual es la dirección de entrega que se elige depende del algoritmo de selección de dirección de origen. El nodo móvil escoge la dirección de entrega que figure en el ámbito y que esté topológicamente más cerca del nodo correspondiente.

---

### ➤ Un nuevo nodo correspondiente se comunica con un nodo móvil

Cuando un nodo correspondiente reinicia la comunicación o comienza a comunicarse con un nodo móvil, utilizando la dirección local del nodo móvil cuando este está fuera de su lugar de origen, ocurre lo siguiente:

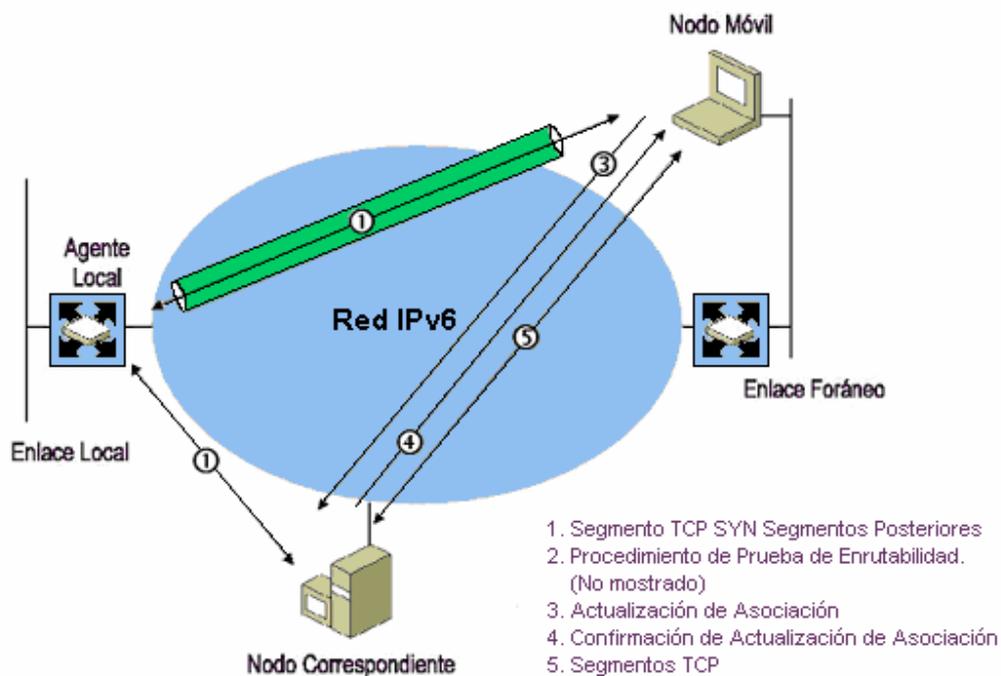
1. El nodo correspondiente inicia la conexión TCP enviando un segmento TCP SYN al nodo móvil por medio de su agente local. Los segmentos de saludo de TCP enviados posteriormente y los datos iniciales de comunicación entre el nodo correspondiente y el nodo móvil son enviados mediante tunelaje bidireccional hasta que el registro de correspondencia se complete (ver el paso 5). Esto se hace para que una aplicación no tenga que esperar hasta que se complete el registro de correspondencia para comenzar a comunicarse.
2. El nodo móvil crea un registro asociado al nodo correspondiente en su lista de actualizaciones de asociación y ejecuta el procedimiento de prueba de enrutabilidad, lo que no se muestra en la *Figura 2. 30*.
3. Cuando el procedimiento de prueba de enrutabilidad ha sido completado, el nodo móvil envía un mensaje de actualización de asociación al nodo correspondiente en el que la bandera de Confirmación (A) tiene un valor de 1.
4. Después de recibir el mensaje de actualización de asociación, el nodo correspondiente actualiza su caché de asociaciones y envía un mensaje de confirmación de actualización de asociación al nodo móvil.

5. Después de que el registro de correspondencia se ha completado, los paquetes TCP enviados posteriormente dentro de la conexión son enviados directamente entre el nodo móvil y el nodo correspondiente.

Ya que la creación de la conexión TCP no hace parte del proceso de registro de correspondencia, los segmentos enviados posteriormente como parte del proceso de saludo de TCP (La confirmación del segmento SYN y el segmento ACK) y cualquier otra clase de datos son transmitidos mediante tunelaje bidireccional hasta que el registro de correspondencia se complete.

El proceso completo se muestra en la *Figura 2. 30*.

**Figura 2. 30:** Un nuevo nodo correspondiente se comunica con un nodo móvil



Después de que proceso se completa, los datos transmitidos entre el nodo correspondiente y el nodo móvil se envían de la siguiente forma:

- Los datos enviados por el nodo móvil se envían desde su dirección de entrega hacia la dirección del nodo correspondiente e incluyen la opción Dirección local dentro de una cabecera de opciones de destino.

- Los datos enviados por el nodo correspondiente se envían a la dirección de entrega del nodo móvil e incluyen una cabecera de enrutamiento de tipo 2 con la dirección local del nodo móvil.

Si la sesión de la capa superior se encuentra inactiva y no se transmite ningún paquete por un determinado espacio de tiempo, el registro del caché de asociaciones puede expirar. Cuando la comunicación se reinicie, el mismo proceso se realiza comenzando con el paso 1.

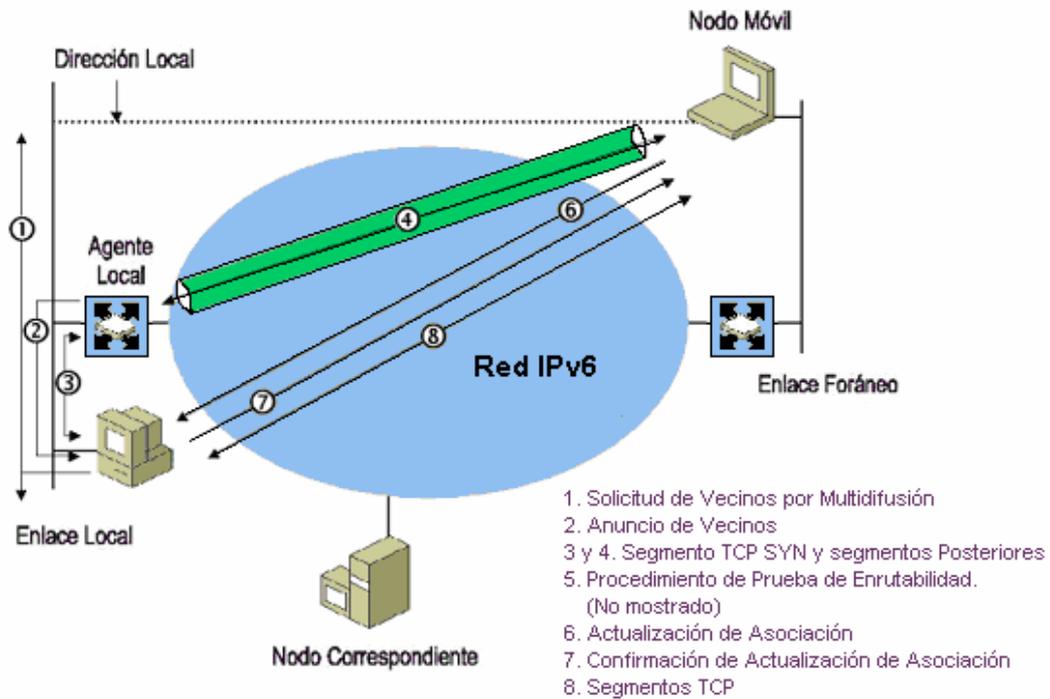
### ➤ **Un nodo en el enlace local se comunica con un nodo móvil**

Cuando un nodo que se encuentra en el enlace local reinicia la comunicación o comienza a comunicarse con un nodo móvil, utilizando la dirección local del nodo móvil cuando este está fuera de su lugar de origen, ocurre lo siguiente (el ejemplo se trabaja con una conexión TCP nueva):

1. El nodo en el enlace local envía una solicitud de vecinos por multidifusión a la dirección de multidifusión para solicitud de nodos que corresponda con la dirección local del nodo móvil.
2. El agente local actúa como medio de descubrimiento de vecinos (ND Proxy) para el nodo móvil, ya que tiene registrada la dirección de multidifusión para solicitud de nodos que corresponde a la dirección local del nodo móvil y se ocupa de recibir cualquier mensaje que llegue a ella. El agente local recibe la solicitud de vecinos y envía un anuncio de vecinos que contiene su dirección de la capa de enlace.
3. El segmento TCP SYN inicial y los segmentos de TCP enviados posteriormente son transmitidos entre el nodo en el enlace local y el agente local utilizando las direcciones de la capa de enlace de cada uno.
4. Los segmentos de TCP son redirigidos hacia el nodo móvil. El tunelaje bidireccional de los segmentos de TCP continúa hasta que se completa el registro de correspondencia (ver paso 5).
5. Después de recibir el segmento TCP SYN inicial enviado por el agente local, el nodo móvil ejecuta un procedimiento de prueba de enrutabilidad con el nodo en el enlace local, lo que no se muestra en la *Figura 2. 31*.
6. El nodo móvil le envía al nodo en el enlace local un mensaje de actualización de asociación.
7. El nodo en el enlace local envía un mensaje de confirmación de actualización de asociación.
8. Después de que el registro de correspondencia se ha completado, los paquetes TCP enviados posteriormente dentro de la conexión son enviados directamente entre el nodo móvil y el nodo correspondiente.

El proceso completo se muestra en la *Figura 2. 31*.

Figura 2. 31: Un nodo en el enlace local se comunica con un nodo móvil



Como ya se explicó en “Un nuevo Nodo Correspondiente se comunica con un Nodo Móvil”, ya que la creación de la conexión TCP no hace parte del proceso de registro de correspondencia, los segmentos enviados posteriormente como parte del proceso de saludo de TCP (La confirmación del segmento SYN y el segmento ACK) y cualquier otra clase de datos son transmitidos mediante tunelaje bidireccional hasta que el registro de correspondencia se complete.

El mismo proceso de interceptar un paquete enviado al nodo móvil (pasos 1 a 3) se utiliza también cuando un paquete dirigido a la dirección local del nodo móvil se entrega en el enlace local por un enrutador que no es el agente local del nodo móvil.

➤ **Un nodo móvil cambia su dirección local**

Cuando se necesita cambiar la dirección local de un nodo, ya sea porque su tiempo de vida se esta acabando o porque debe cambiarla debido a un cambio en el prefijo de la subred local, se debe seguir el siguiente proceso:

1. El nodo local envía un mensaje de Solicitud del prefijo local de ICMPv6 al agente local.
2. El agente local responde con un mensaje de Anuncio de prefijo local de ICMPv6.

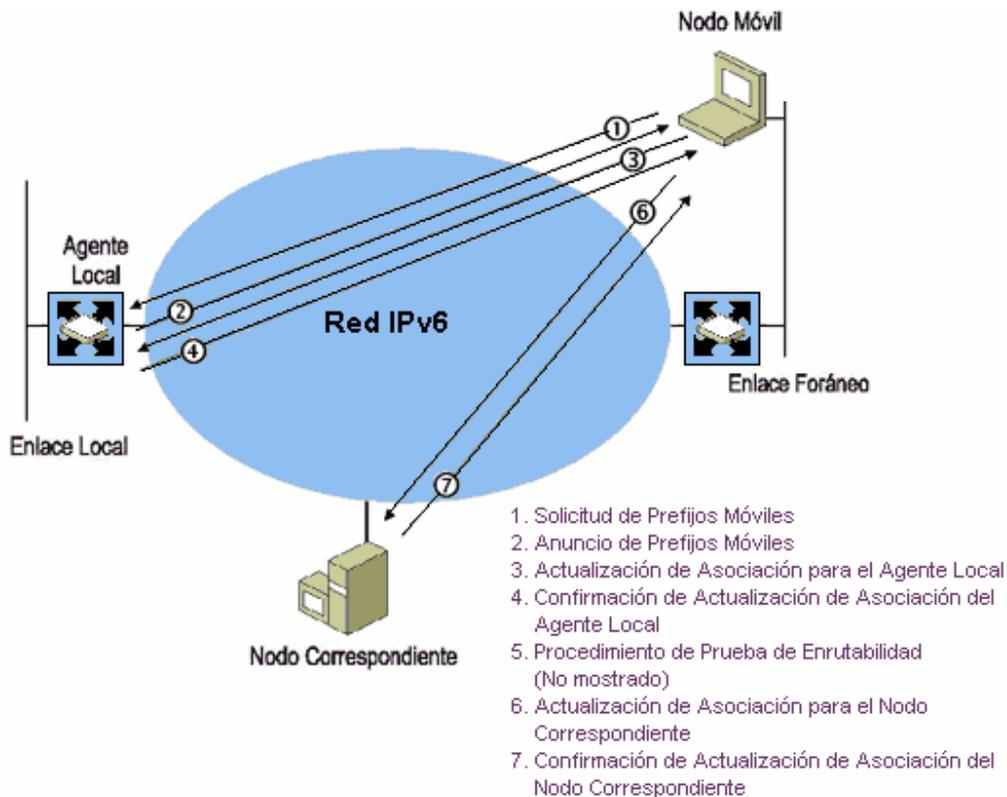
Cuando el nodo móvil recibe este mensaje, examina la opción Información del prefijo. Si no ha habido un cambio en el prefijo de la subred local el nodo móvil refresca los tiempos de vida de validez y preferencia de la dirección local y el proceso termina.

Si el prefijo de la subred local ha cambiado, el nodo móvil debe actualizar las asociaciones con el agente local y con todos los nodos correspondientes en su lista de actualizaciones de asociación.

3. Para registrar la nueva dirección local con el agente local, el nodo móvil le envía al agente una actualización de asociación. Dentro de la actualización, a las banderas de Registro Local (H) y de Confirmación (A) se les asigna un valor de 1.
4. El agente local envía una confirmación de actualización de asociación.
5. El nodo móvil debe realizar de nuevo un registro de correspondencia con cada nodo correspondiente en su lista de actualizaciones de asociación. Por consiguiente, un procedimiento de prueba de enrutabilidad se realiza (no mostrado en la *Figura 2. 32*) con cada nodo correspondiente que aparezca en la lista. Ya que solo la ruta asociada a la dirección local ha cambiado, solo los mensajes HoTI y HoT son intercambiados.
6. Después de que el procedimiento de prueba de enrutabilidad resulta exitoso, el nodo móvil envía una actualización de asociación a cada nodo correspondiente.
7. Después de recibir la actualización de asociación, cada nodo correspondiente actualiza su caché de asociaciones y envía una confirmación de actualización de asociación como respuesta.

El proceso completo se muestra en la *Figura 2. 32*.

Figura 2. 32: Un nodo móvil cambia su dirección local.



### 2.7.3. Trasladándose a otro enlace foráneo

Cuando un nodo móvil se conecta a un enlace foráneo después de haber estado en otro enlace foráneo, debe realizar los siguientes procesos.

- Recibir una nueva dirección de entrega.
- Darle a conocer su nueva dirección de entrega a su agente local para que la registre.
- Enviar actualizaciones de asociación a todos los nodos correspondientes.

Cuando el nodo móvil se conecta con el nuevo enlace foráneo, ocurre lo siguiente:

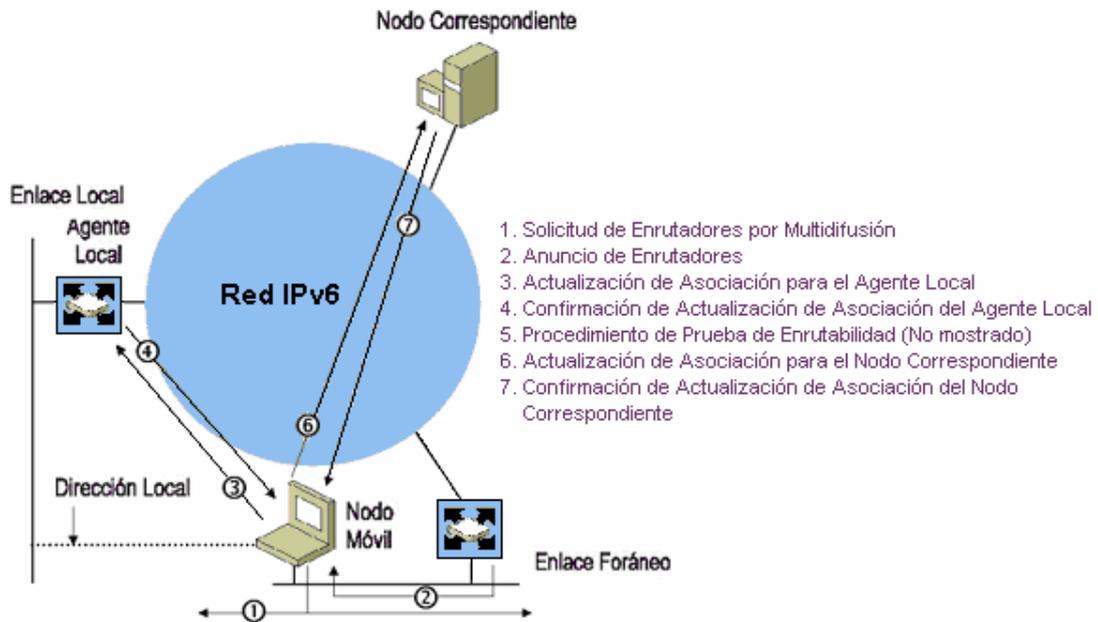
1. El nodo móvil envía un mensaje de Solicitud de enrutadores por multidifusión en el nuevo enlace foráneo. Dependiendo de cómo está implementado IPv6, el nodo móvil puede enviar la solicitud de enrutadores desde su dirección de la localidad del enlace (link-local address), asumiendo que esta dirección sea única dentro del enlace foráneo, o desde la dirección no especificada (::), asumiendo que la dirección de enlace local no es única dentro del enlace foráneo.

2. Todos los enrutadores en el nuevo enlace foráneo responden con un mensaje de Anuncio de enrutadores. Dependiendo del valor de la dirección de origen en el mensaje de solicitud de enrutadores, la respuesta puede ser enviada por difusión normal (si la solicitud de enrutadores se envió desde la dirección de enlace local) o por multidifusión (si la solicitud se envió desde la dirección no especificada). *La Figura 2. 33* muestra el envío del anuncio de enrutadores hacia el nodo móvil. Cuando recibe el(los) mensaje(s) de anuncio de enrutadores, el nodo móvil elabora una(s) dirección(es) de entrega, verifica que sea(n) única(s) mediante la detección de direcciones duplicadas (duplicate address detection) y se une a los grupos de multidifusión para solicitud de nodos que le corresponden, lo que no se muestra en la *Figura 2. 33*.
3. Para registrar la dirección de entrega primaria del nodo móvil en el agente local, el nodo envía una actualización de asociación al agente local. En la actualización se encontraran las banderas de Registro local (H) y de Confirmación (A).
4. El agente local envía una confirmación de actualización de asociación.
5. El nodo móvil debe realizar de nuevo un registro de correspondencia con cada nodo correspondiente en su lista de actualizaciones de asociación. Por consiguiente, un procedimiento de prueba de enrutabilidad se realiza (no mostrado en la *Figura 2. 33*) con cada nodo correspondiente que aparezca en la lista. Ya que solo la ruta asociada a la dirección de entrega ha cambiado, solo los mensajes CoTI y CoT son intercambiados.
6. Después de que el procedimiento de prueba de enrutabilidad resulta exitoso, el nodo móvil envía una actualización de asociación a cada nodo correspondiente.
7. Después de recibir la actualización de asociación, cada nodo correspondiente actualiza su caché de asociaciones y, si así lo solicita el nodo móvil, envía una confirmación de actualización de asociación como respuesta.

El proceso completo se muestra en la *Figura 2. 33*.

Si la actualización de asociación enviada por un nodo móvil hacia un nodo correspondiente se pierde en la red, el nodo correspondiente continúa enviando los paquetes a la dirección de entrega previa del nodo móvil basándose en su ahora desactualizado registro de caché de asociaciones. Estos paquetes son enviados al enlace foráneo anterior y el enrutador en este enlace trata de entregarlos. Si este enrutador aun cree que el nodo móvil es accesible en el enlace foráneo anterior, los paquetes son dirigidos a la dirección de la capa de enlace del nodo móvil. Ya que el nodo móvil no se encuentra conectado al enlace, los paquetes se pierden.

Figura 2. 33: Un Nodo Móvil se conecta a un nuevo Enlace Foráneo



Los métodos para corregir esta condición errónea son los siguientes:

- Cuando el nodo móvil no recibe una confirmación de actualización de asociación del nodo correspondiente, retransmite una actualización de asociación. El nodo correspondiente la recibe y actualiza su caché de asociaciones con la nueva dirección de entrega del nodo móvil.
- El enrutador del enlace foráneo anterior utiliza detección de inaccesibilidad de vecinos y determina que el nodo móvil ya no se encuentra en su enlace. Cuando se trata con enlaces punto a punto como es el caso de una conexión inalámbrica, la inaccesibilidad del nodo móvil se indica inmediatamente por la falta de la señal inalámbrica proveniente del nodo móvil. En un enlace de tipo segmento de Ethernet, el registro del caché de vecinos del enrutador del enlace foráneo anterior pasa por los estados REACHABLE, STALE, DELAY y PROBE. Después de que el registro del caché es borrado, los intentos de entrega de paquetes a la dirección de entrega anterior del nodo móvil fallan y el enrutador envía un mensaje de Destino Inaccesible – Dirección Inaccesible de ICMPv6 al nodo correspondiente. Cuando recibe este mensaje, el nodo correspondiente quita el registro del nodo móvil de su caché de asociaciones y la comunicación reinicia como se describe en la sección “Un nuevo nodo correspondiente se comunica con un nodo móvil”.
- Todos los registros del caché de asociaciones tienen un tiempo de vida finitos como se especifica en la política local del nodo correspondiente y en el campo Tiempo de vida en la última actualización de asociación. Cuando se termina el tiempo de vida, el

registro del caché de asociaciones es removido y la comunicación reinicia como se describe en la sección “Un nuevo nodo correspondiente se comunica con un nodo móvil”. De forma alternativa, un nodo correspondiente puede enviar una solicitud de renovación de asociaciones antes que el tiempo de vida del registro termine. Si no hay ninguna respuesta a la solicitud, el nodo correspondiente quita el registro de su caché de asociaciones.

### 2.7.4. Regresando al lugar de origen

Cuando un nodo móvil se conecta a su enlace local después de haber estado fuera de él, debe ejecutar las siguientes funciones:

- Enviar una actualización de asociación para que borre la asociación que tiene con el nodo móvil.
- Informar al enlace local que la dirección de la capa de enlace correcta para la dirección local es ahora la dirección de la capa de enlace del nodo móvil.
- Enviar actualizaciones de asociación a todos los nodos correspondientes para que borren toda asociación con el nodo móvil.

Cuando el nodo móvil se acerca a su enlace local, ocurre lo siguiente:

1. El nodo móvil envía un mensaje de Solicitud de enrutadores por multidifusión en el enlace local. Dependiendo de cómo está implementado IPv6, el nodo móvil puede enviar la solicitud de enrutadores desde su dirección de la localidad del enlace (link-local address), asumiendo que esta dirección sea única dentro del nuevo enlace, o desde la dirección no especificada (::), asumiendo que la dirección de enlace local no es única dentro del nuevo enlace.
2. Todos los enrutadores en el enlace local responden con un mensaje de Anuncio de enrutadores. Dependiendo del valor de la dirección de origen en el mensaje de solicitud de enrutadores, la respuesta puede ser enviada por difusión normal (si la solicitud de enrutadores se envió desde la dirección de enlace local) o por multidifusión (si la solicitud se envió desde la dirección no especificada). *La Figura 2.34 muestra el envío del anuncio de enrutadores hacia el nodo móvil.*

Ya que el anuncio de enrutadores contiene un prefijo de dirección igual a su prefijo de dirección local, el nodo móvil determina que se encuentra en su enlace local. Dependiendo de la implementación de IPv6 móvil, el nodo móvil puede o no realizar una detección de direcciones duplicadas para su dirección local, ya que el agente local está actuando como un ND Proxy para el nodo móvil, protegiendo el uso de su dirección local. Si el nodo móvil no realiza la detección de direcciones duplicadas, debe ignorar el mensaje de Anuncio de vecinos enviado por el agente local.

3. Para eliminar el registro del caché de asociaciones del agente local, el nodo móvil le envía una actualización de asociación en la que la dirección de entrega tiene como

valor la dirección local del nodo. En la actualización se encontraran las banderas de Registro local (H) y de Confirmación (A).

Si se reciben muchos anuncios de enrutadores, el nodo móvil puede determinar cual es su agente local basándose en la opción Información del prefijo de los anuncios, ya que el anuncio de su agente tendrá la dirección global del agente local en el campo Prefijo.

El nodo móvil determina cual es la dirección de la capa de enlace de su agente local basándose en el valor del campo Dirección del enlace local en la opción Dirección de origen del enlace local en el anuncio de enrutadores enviado por el agente local. Si no se incluyó esta opción, el nodo móvil puede utilizar resolución de direcciones (address resolution) para determinarla ya que la dirección global del agente local es conocida.

4. Cuando recibe la actualización de asociación, el agente local elimina el registro de la asociación con el nodo móvil de su caché de asociaciones, deja de prevenir la utilización de la dirección local del nodo dentro del enlace y responde con una confirmación de actualización de asociación, lo que se muestra en la *Figura 2. 34*. Adicionalmente, el agente local deja el grupo de multidifusión de direcciones de multidifusión para solicitud de nodos que corresponde a la dirección local del nodo móvil y deja de esperar la llegada de tramas por multidifusión de capas de enlace en la dirección de multidifusión MAC que corresponde con la dirección de multidifusión para solicitud de nodos.
5. Al recibir la confirmación de actualización de asociación, el nodo móvil debe informarles a los nodos en el enlace local cual dirección de la capa de enlace para la dirección local es ahora la dirección de la capa de enlace del nodo móvil. Para esto envía un mensaje no solicitado de anuncio de vecinos por multidifusión a la dirección de multidifusión hacia todos los nodos del ámbito de la localidad del enlace (link-local scope all-nodes multicast address) (FF02::1) asignándole a la bandera de Anular (Override O) un valor de 1.

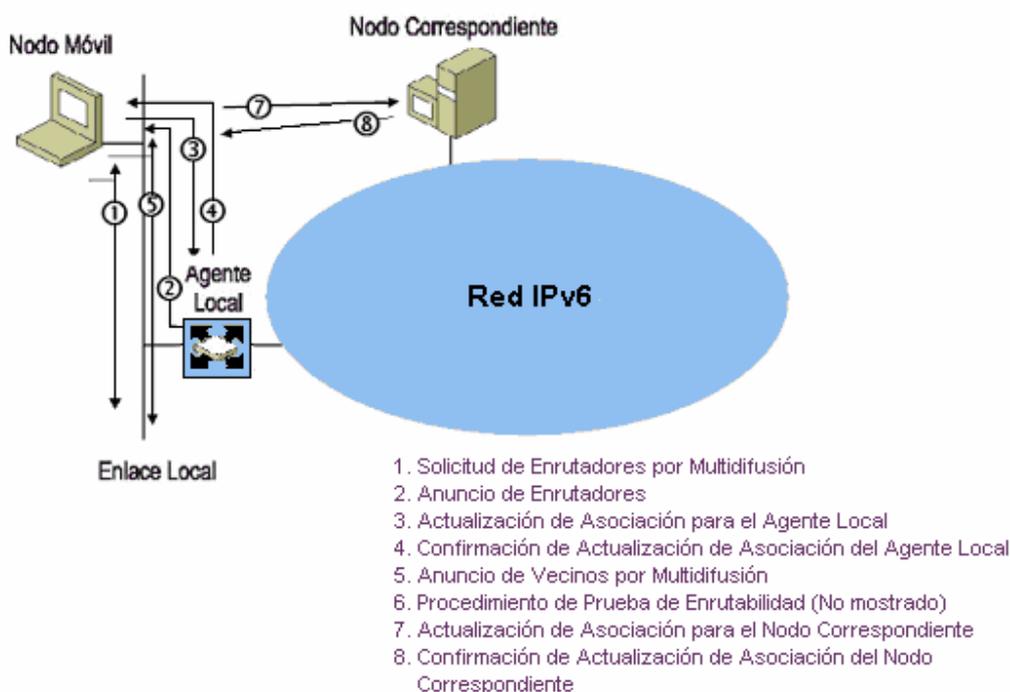
El nodo móvil se une al grupo de multidifusión de direcciones de multidifusión para solicitud de nodos que corresponde a su dirección local y registra interés en la llegada de tramas por multidifusión de capas de enlace en la dirección de multidifusión MAC que corresponde con la dirección de multidifusión para solicitud de nodos, lo que no se muestra en la *Figura 2. 34*.

6. Antes de enviar una actualización de asociación a cada nodo correspondiente en la lista de actualizaciones de asociación del nodo, el nodo móvil ejecuta un procedimiento de prueba de enrutabilidad (no mostrado en la *Figura 2. 34*) Ya que la dirección local y la nueva dirección del nodo son las mismas, solo los mensajes HoTI y HoT son intercambiados. Los mensajes CoTI y CoT no son necesarios cuando el nodo regresa a su lugar de origen.
7. El nodo móvil envía una actualización de asociación a cada nodo correspondiente dentro de la cual el valor de la dirección de entrega será la dirección local del nodo.

8. Después de recibir la actualización de asociación, cada nodo correspondiente elimina el registro de la asociación con el nodo móvil de su caché de asociaciones y envía una confirmación de actualización de asociación como respuesta.

El proceso completo se muestra en la *Figura 2. 34*.

*Figura 2. 34: Un nodo móvil regresando al lugar de origen*



## 2.8. EXTENSIONES DE MIPv6

Si bien el protocolo permite la movilidad transparente, no proporciona el rendimiento necesario en situaciones de micromovilidad y/o con aplicaciones con requisitos de tiempo real. Para este tipo de escenarios se han definido extensiones al protocolo básico MIPv6. En esta sección se estudiarán las extensiones más importantes: jerárquico (HMIPv6), traspasos rápidos para IPv6 móvil (FMIPv6) y traspaso rápido sobre jerárquico (FHMIPv6).

Básicamente, la extensión de jerárquico (HMIPv6) introduce la figura del MAP (*Mobile Anchor Point*), entidad que básicamente es un HA local que permite la estratificación en jerarquías del procesado asociado a la movilidad IP. Esto permite disminuir la señalización relativa a que se intercambia, al sólo ser necesaria la comunicación con el MAP (si el movimiento se realiza dentro del dominio del mismo MAP), además de mejorar el rendimiento global, al estar el MAP en general más “cerca” que el agente local y los

nodos correspondientes y por lo tanto el proceso de actualización de asociaciones posterior a un movimiento se realiza en un intervalo de tiempo menor.

El protocolo de traspasos rápidos para (FMIPv6) intenta minimizar la latencia asociada al nivel IP, intentando reducir el tiempo de traspaso y la pérdida de paquetes a la debida al traspaso a nivel 2. Existen dos variantes de este protocolo: FPredictivo y FReactivo. Fpredictivo sigue la filosofía de “prepararse antes de moverse”, dividiendo el proceso de traspaso en tres fases: inicio del handover - durante la cual se avisa al AR al que se encuentra conectado el nodo móvil del router al que se quiere realizar un traspaso -, establecimiento de un túnel bidireccional -empleado por el AR previo y el nuevo AR para hacer que los paquetes enviados al nodo móvil le sean entregados en su nueva localización, nada más conectarse al nuevo AR- y reenrutamiento de los paquetes - fase en la cual se enrutan los paquetes desde el AR previo al nuevo AR. En cuanto al escenario reactivo, la única diferencia con el predictivo es que, mientras el predictivo hace el binding, es decir, avisa del traspaso al router ANTES de desconectarse de su red y conectarse a una nueva, en el reactivo, se hace DESPUÉS. Cuando el nodo móvil ya se encuentra conectado a su nueva red, es cuando realiza el binding.

Finalmente, tenemos otra extensión, F-HMIPv6, que consiste en la aplicación de la técnica de traspasos rápidos (FMIPv6) dentro de un escenario jerárquico (HMIPv6). Donde se reutilizan los mensajes de FMIPv6, con la diferencia de que el diálogo de traspaso se establece con el MAP y no con el AR, consiguiendo de esta manera, mejorar el rendimiento y disminuir el tiempo de traspaso.

En el Anexo B se explican con más detalle cada una de las extensiones mencionadas.

### 3. TECNOLOGIAS QUE SOPORTAN MOVILIDAD SOBRE IPv6

#### 3.1. INTRODUCCION

Las tendencias actuales en el ámbito de las comunicaciones inalámbricas conlleva a que en el futuro estas redes se conecten entre si o a redes cableadas, en anchos de banda muy superiores de los que hoy se conoce; al mismo tiempo estas redes tendrán acceso multi-modal (IPv6, xDSL, CATV, Wi-fi, fibra óptica), con lo cual se multiplicará la conectividad entre dispositivos.

El nuevo paradigma de la tecnología de la información bajo este entorno es lo que actualmente se ha dado en llamar *redes ubicuas*. Estas redes permitirán a los usuarios acceder a Internet desde cualquier sitio y en cualquier momento, característica que introduce beneficios en muchos ámbitos como por ejemplo la tele-educación, tele-medicina y los modelos de negocios; pero también se debe esperar una nueva serie de problemas en el uso de las telecomunicaciones como son la seguridad, la multidifusión etc.

El objetivo de la ubicuidad es la convergencia no solo de las redes de acceso como tal sino de los servicios y las aplicaciones, manteniendo presente el concepto de QoS y la seguridad. Los expertos parten por fijarse una serie de pasos, los cuales en cada logro, van realizando una transición muy suave en aras de no afectar en ese momento la atención del usuario. Esta metodología permite además probar los desarrollos que en cada periodo se estén dando y si son factibles, permitir que sean ampliamente utilizados por los usuarios en general.

La meta final de es conseguir una red que englobe una serie de productos y tecnologías que contribuyan en forma positiva al nuevo modelo de sociedad: *la sociedad de la información*.

En este capítulo se hace una descripción general de estas tecnologías destacando como el protocolo IPv6 juega un papel protagónico en estas tendencias. Se describe como se adapta adecuadamente en las tecnologías WLAN y de segunda y tercera generación de la telefonía celular; se relacionan los acuerdos, grupos de trabajo y proyectos que hasta la actualidad se desarrollan a nivel mundial.

#### 3.2. GENERALIDADES DE LAS TECNOLOGIAS INALAMBRICAS

Existen tecnologías con las que se pueden implementar redes de comunicaciones con movilidad restringida (local o nómada). En concreto, se presentan divididas en cuatro categorías denominadas:

### **3.2.1. Redes de área personal inalámbricas.**

Son redes que soportan las comunicaciones en el entorno próximo de una persona o de un dispositivo. Normalmente se asume que la distancia máxima entre dos nodos de la red es de unos diez metros, pero, como ocurre con otras redes, es posible sacrificar calidad o tasa binaria para extender el rango de cobertura. Estas redes soportan distintas topologías, desde simples enlaces punto a punto (por ejemplo, se han propuesto tecnologías para implementar un conector USB inalámbrico), hasta topologías en estrella o en malla.

### **3.2.2. Redes de área local inalámbricas - WLAN**

Originalmente diseñadas como alternativas a las redes de área local cableadas, han tenido un éxito inesperado motivado por diversas causas, entre ellas el propio boom de Internet, la facilidad de instalación y despliegue, y los precios muy asequibles de los dispositivos debido a la simplicidad de la tecnología. Este éxito ha motivado su auge y la adopción de estas redes para el establecimiento de “hot spots” primero y de redes con cobertura más extensa después.

### **3.2.3. Redes de área metropolitana**

Surgidas como una evolución de las tecnologías para bucle de usuario inalámbrico (de gran implantación sobre todo en áreas rurales y en países en vías de desarrollo), las redes inalámbricas de área metropolitana, por ejemplo WIMAX, surgen también como una opción para la provisión de comunicaciones en condiciones de movilidad o semimovilidad. Su aparición en coincidencia con el auge de las redes WLAN ha provocado que se especule con las oportunidades que pueden ofrecer en competencia o complementariedad con las tecnologías puramente móviles.

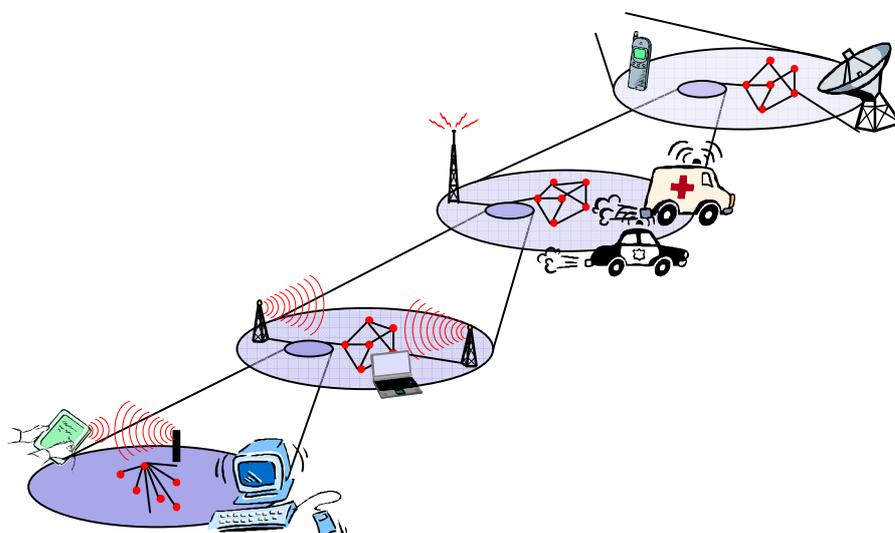
### **3.2.4. Redes móviles Ad-Hoc - MANET**

Son aquellas que están constituidas por tecnologías de comunicaciones de corto alcance y que se apoyan en enlaces formados por saltos entre dispositivos próximos hasta el punto de acceso a la red fija. La principal característica de estas redes es la ausencia de cualquier tipo de estructura de red, pues se constituyen dependiendo de la disponibilidad de repetidores próximos (que son los propios dispositivos de comunicación). El origen de este tipo de redes son las comunicaciones tácticas militares, que no pueden depender de una infraestructura estable (con el mismo concepto de autoconfiguración del que nació la propia Internet). En general, este tipo de redes puede utilizarse sobre una infraestructura de red de área personal, local o metropolitana, pero sus primeras aplicaciones se prevén para redes del primer tipo.

### 3.3. IPV6 EN LAS TECNOLOGIAS INALÁMBRICAS

El protocolo Mobile IP como tal trabaja en el nivel de red (nivel 3), afectando el routing de datagramas, mientras que las tecnologías inalámbricas (2G, 3G y WLAN) solo llegan hasta el nivel dos o de enlace (el UMTS puede soportar algunos protocolos del nivel 3), esto permite que una red inalámbrica vista desde el protocolo Internet, sea análoga a una red cableada; esta modularidad permite el funcionamiento transparente de los niveles superiores independiente del método de acceso y puede manejar la movilidad entre diferentes tecnologías (LAN, WLAN, dial-up links, wireless channels, etc.), o más conocido como el handover vertical (ver la *Figura 3. 1*).

**Figura 3. 1:** Handover Vertical

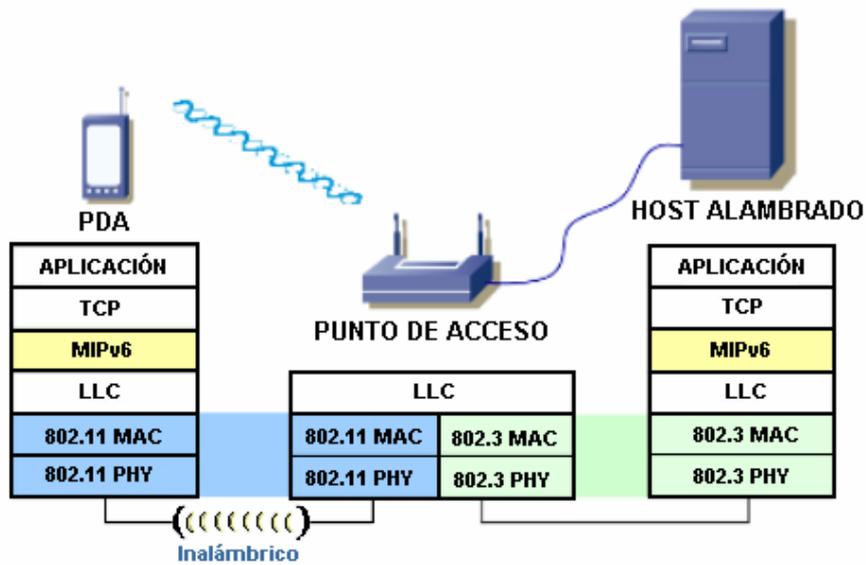


El problema genérico de Mobile IP (como se destaca en el capítulo 2), es cuando el nodo móvil se cambia a una nueva subnet, dado que allí debe obtener una nueva dirección IP provocando la interrupción del envío de paquetes y por ende las aplicaciones de los niveles superiores.

El protocolo soporta el manejo de movilidad a nivel de red (ver *Figura 3. 2*), ya que puede aprovisionar de direcciones estáticas a los terminales móviles, independiente de su lugar de enlace, manteniendo la conectividad lógica en los niveles superiores; logra, además la gestión de terminales multi-acceso (mediante el uso de terminales multi-modo) por ejemplo entre redes WCDMA y WLAN.

Estas características particulares del protocolo (explicadas ampliamente en el capítulo dos), son muy adecuadas para complementar la movilidad a nivel de enlace en las redes inalámbricas.

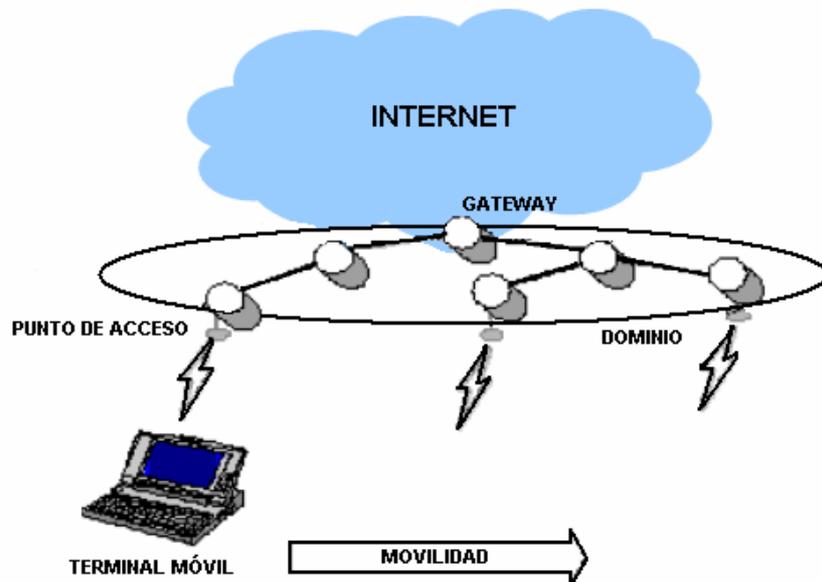
Figura 3. 2: MIPv6 y las redes inalámbricas



### 3.3.1. Handover en WLAN/IPv6

Las WLAN dan acceso a usuarios autorizados y asociados a una institución o Empresa, aunque en ella puede existir una jerarquía o divisiones de dependencias y cada una de ellas con una subnet, el movimiento de un usuario siempre se enmarcará dentro de la *movilidad intradominio* o *micro movilidad*. Así en este escenario un dispositivo móvil puede saltar de un AP a otro sin que necesariamente deba cambiar de HA.

Figura 3. 3. Handover en WLAN/IPv6



Si el usuario sale de su Intranet para saltar a otro dominio de red, aparece el concepto de *macro movilidad* o *movilidad intradominio* donde no solo cambia de AP sino que además debe cambiar de HA, desarrollándose todo el proceso del descrito en el capítulo 2.

El protocolo IPv6 y su característica de movilidad desarrollada en el MIPv6, exigen que en los elementos de la red se haya implementado el protocolo, para así poder brindar sus ventajas de seguridad y manejo del handover intradominio; resaltando que en la actualidad existen grupos de trabajo que buscan optimizar el clásico mediante extensiones adecuadas.

La *Figura 3. 4* muestra Una visión mas completa como se sucede la integración de las tecnologías inalámbricas con el protocolo IPv6, teniendo en cuenta además el aspecto de seguridad.

**Figura 3. 4:** Integración de las tecnologías inalámbricas con el protocolo IPv6, teniendo en cuenta la seguridad



### 3.3.2. Tecnologías inalámbricas que soportan IPv6

Es de esperarse que en el futuro la convergencia permita no solo beneficios para los usuarios si no que además genere mayor competitividad a empresas e instituciones; este fenómeno se refleja en la ardua investigación que hoy se realiza en el mundo inalámbrico, en busca por parte de los fabricantes y organizaciones para llegar primero en la prestación de un servicio de acceso de red.

Sobre las tecnologías existentes se han hecho extensiones como es el caso de la 802.11, la cual se ha ido acondicionando a las necesidades de sus clientes dando como resultado

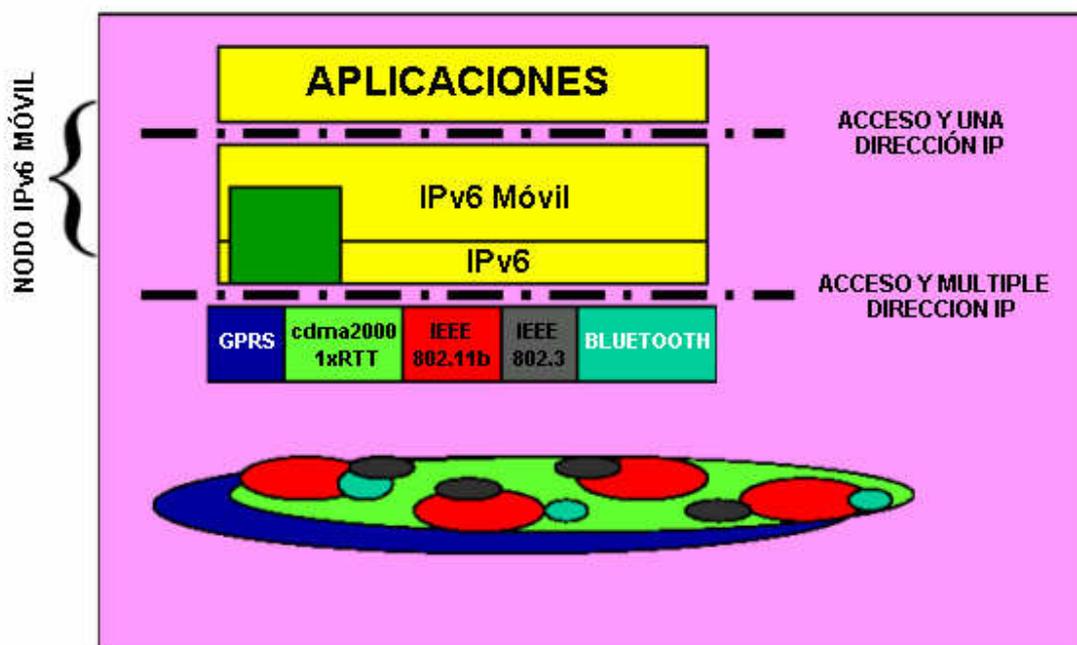
las versiones 802.11x, donde cada una se enfoca en un parámetro o propuesta de frecuencia, capacidad, seguridad etc.

De ella es importante resaltar por su novedad y expectativa la esperada 802.11n, la cual promete velocidades muy por encima de las actuales versiones (a, b y g), tanto que empresas como Belkin ya lanzaron al mercado dispositivos pre-n de los cuales se debe tener cierta prudencia en el momento de elegir una infraestructura para cualquier implementación.

La 802.11x en sus versiones a, b, y g pueden considerarse como tecnologías maduras y realizar en una WLAN la transición para el manejo del IPv6 no puede considerarse demasiado complejo en términos de equipos y de SW.

Pero hoy aparecen nuevas propuestas en interconexión inalámbrica para el soporte de movilidad como son la 802.20 y la 802.16 donde sus características y perspectivas se mencionan más adelante.

**Figura 3. 5:** Soporte de Movilidad de IPv6



La siguiente tabla enuncia las posibles tecnologías que según las necesidades, entorno y condiciones del medio pueden optarse como solución a una interconexión inalámbrica, teniendo como base el protocolo IPV6.

Tabla 3. 1: Resumen de tecnologías inalámbricas de acceso por área cubierta

	802.11	802.15	802.16	802.20
ESPECTRO	Sin licencia	Sin Licencia	Licencia Sin Licencia	Licencia
BANDA DE FRECUENCIAS	2,4 GHz. 5 GHz	Varias según la aplicación	10-66 GHz 2-11 GHz	Por debajo 3,5 GHz
TIPO DE ACCESO	Área Local	Espacio personal	Accesos fijos PMP y mallados en MAN	Ubicuidad en áreas metropolitanas
MOVILIDAD	Portabilidad	Espacio personal	Fijo	
ALIMENTACIÓN	Batería	Batería	Red	Batería
LOS/NLOS	NLOS	NLOS	LOS (10-66 GHz) NLOS (2-11 GHz)	NLOS
CAPAS AFECTADAS	PHY y MAC para LAN	PHY y MAC para PAN	PHY y MAC para acceso inalámbrico PMP	PHY y MAC para redes acceso móviles

### 3.4. IPv6 EN LAS REDES CELULARES ACTUALES

La 3G es una tecnología propia de proveedores de servicios móviles, y es la evolución y extensión natural de su modelo de negocio. En general, todos los servicios móviles son proporcionados por operadores que poseen y operan sus propias redes y venden servicios móviles a los usuarios finales, habitualmente sobre la base de una suscripción mensual.

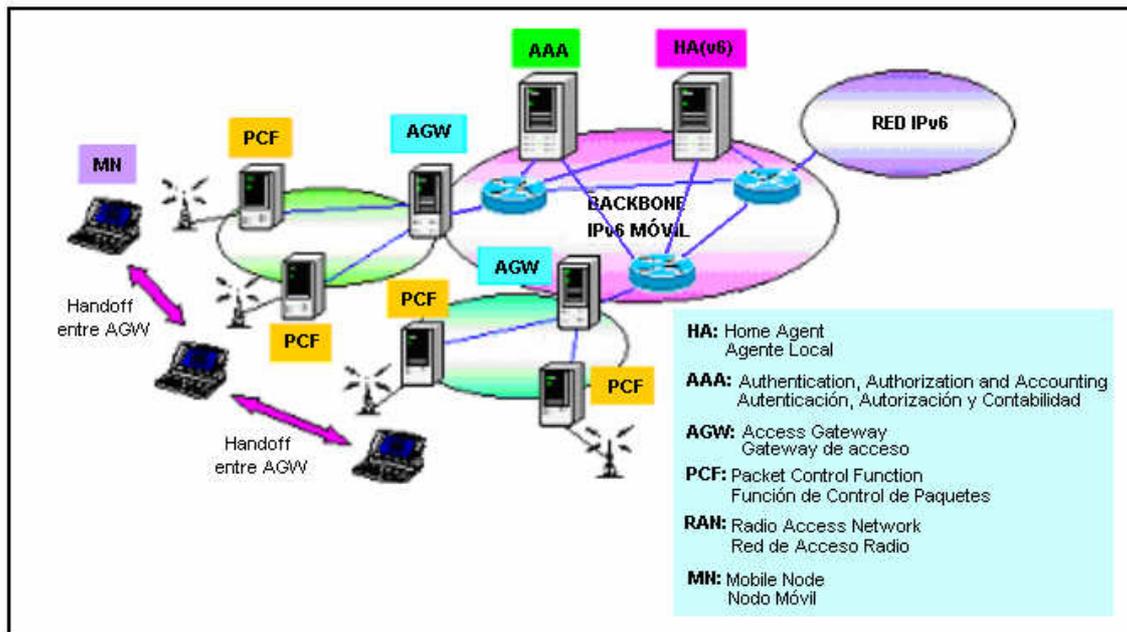
De otra parte el protocolo IP es el eje de los servicios de Internet, y estos servicios son altamente requeridos por los usuarios. Esta situación provocó que paulatinamente se iniciara una convergencia en búsqueda de un plan de negocio frente a estas dos grandes tecnologías, naciendo acuerdos de cooperación inscritos en los RFCs entre la IETF y los grupos 3GPPs. Con esta panorámica se puede realizar una descripción general como se han interrelacionado estas tecnologías.

#### 3.4.1. IP en las 3G

La base dominante actual es la IPv4, y como tal la primera opción adoptada en redes 3G, sin embargo el reconocimiento de las ventajas de IPv6 ha hecho que este también sea adoptado en la última ola de redes celulares, con el debido y adecuado manejo que se le debe prestar a esa transición.

Gracias al amplio espacio de direcciones habilitadas, IPv6 permite el concepto de red “always on” haciendo posible que una gran cantidad de dispositivos tengan activa permanentemente una dirección IP, por un largo periodo de tiempo; fortaleciendo así un punto clave en el despliegue de IP en redes celulares: comunicaciones end to end con el menor grado de complejidad para el usuario final.

**Figura 3. 6:** Integración a nivel de infraestructura el protocolo IPv6 dentro de las tecnologías 3G.



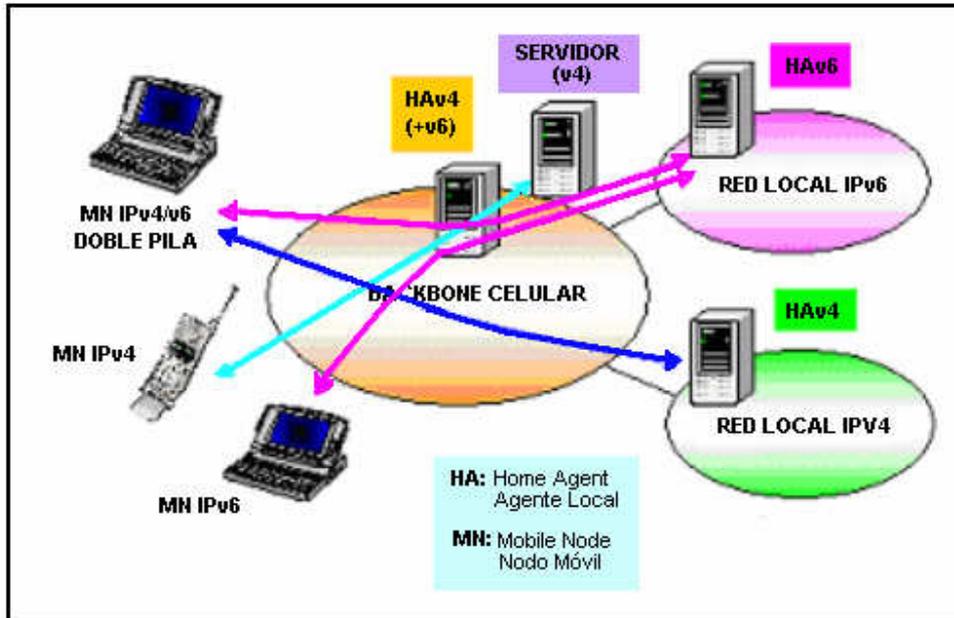
La *Figura 3. 6*, ilustra en forma general como se integra a nivel de infraestructura el protocolo IPv6 dentro de las tecnologías 3G. Para que un móvil pueda servirse de los beneficios del protocolo en este contexto, se hace necesario que antes la información pase por los diferentes mecanismos y tecnologías de acceso que la 3G brinde en ese momento.

Las redes 3G han introducido soporte de movilidad IP a través de mobile IP definiendo y estandarizando su infraestructura tanto a nivel físico como a nivel lógico.

Para tal objetivo se ha trabajado sistemáticamente avanzando en el perfeccionamiento de todos los aspectos tecnológicos, pero sin dejar de ofrecer los servicios que se han logrado consolidar en un momento dado. Soportándose además por los acuerdos de cooperación que los grupos de trabajo 3G han logrado con la IETF y que se encuentran plasmados en los RFCs 3113 y 3131 tanto para el 3GPP como el 3GPP2 respectivamente.

La *Figura 3. 7* muestra como el backbone celular colabora en forma transparente en la administración para el transporte de información hacia redes IPv4 o IPv6, a través de los agentes que implementan estos protocolos

Figura 3.7: Cooperación IPMóvil v4/v6



IPv6 es un activador fundamental para la visión que tenemos de la Sociedad de Información Móvil. Actualmente, el número de teléfonos inalámbricos ya supera con creces el número de terminales fijos de Internet. En estos momentos, IPv6 se perfila como la única arquitectura viable que puede acomodar la nueva ola de dispositivos celulares capaces de soportar Internet. Además, IPv6 permite la oferta de servicios y prestaciones demandadas por las infraestructuras móviles (GPRS, UMTS), redes de banda ancha, electrónica de consumo y terminales, y la subsiguiente interoperabilidad/gestión.

### 3.4.2. IP Móvil en los grupos 3G

GPRS y UMTS no soportan explícitamente el MIP, sin embargo la movilidad IP en particular puede ser usada para el soporte de movilidad en el terminal para múltiples accesos de red GPRS/UMTS o wireless LAN.

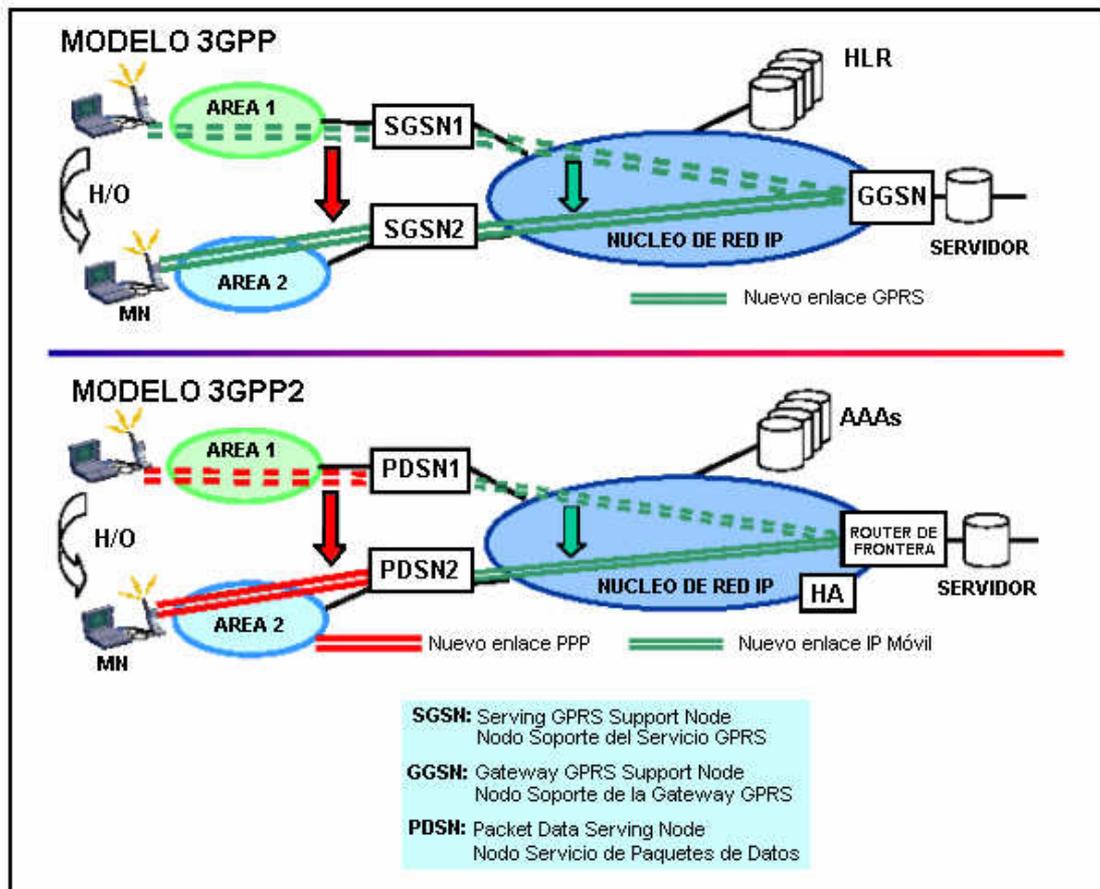
Cuando es usada en GPRS obtiene una conectividad local IP al GGSN. La dirección obtenida en el GGSN es usada como CoA. Entonces el nodo móvil envía a un mensaje BU para el HA y a algún CN en búsqueda de habilitar una optimización de ruta (proceso explicado ampliamente en el capítulo 2)

3GPP ha definido y estandarizado una infraestructura llamada subsistema de IP multimedia (IMS) basada en el SIP para soportar multitud de servicios a sus usuarios. Como ejemplo tenemos VoIP, IM, y streaming; seleccionando a IPv6 como soporte del IMS en orden de los beneficios obtenidos, motivados por las ventajas del protocolo IPv6.

En el caso de cdma2000, el proceso es semejante. El nodo móvil obtiene conectividad a través de la red de radio y del PDSN. El PDSN es el punto de enlace del NM para la red IP y actúa como un FA en el soporte de movilidad IP.

El 3GPP2 también adopta el sistema IMS para redes CDMA2000, pero con sustanciales diferencias en el core network.

Figura 3.8: Modelos 3GPP y 3GPP2 e IPMovil v6



Este funcionamiento adquirirá gran mejora cuando en un futuro se use plenamente la versión 6 del protocolo IP. Esta optimización será en aspectos como la simplicidad de configuración de red; capacidad de proveer múltiples direcciones IP a un dispositivo etc.

Hoy por ejemplo se hace necesario un elevado número de dominios para atender muchos suscriptores, con la versión IPv6, un solo dominio puede atender muchos suscriptores, dando una gran versatilidad al manejo de las redes de datos celulares.

En este orden de ideas la meta final es lograr la aplicación de servicios IPv6 en un dispositivo celular, a través de una red celular IP dual (IPv4/IPv6), y con un NW que maneje el protocolo IPv6 totalmente; en este punto se habrá hecho popular tanto el acceso a través de IPv6 como los servicios de VoIP celulares.

Pero para llegar a este objetivo debe hacerse por pasos y partiendo de lo que hoy se tiene: unos dispositivos que solo manejan IPv4 al igual que los core NW.

El primer paso es iniciar con la transición progresiva del core NW hacia IPv6, con formas como los servicios de IPV6 a través túneles sobre IPv4.

El segundo paso ha de ser la implementación dual de IPv4/v6 en el core NW y prestación de servicios nativos de IPV6 en PC/PDA. En este punto, mientras que los servicios de VoIP celulares no serán tan populares, el acceso a través de IPv6 si habrán adquirido una significativa popularidad.

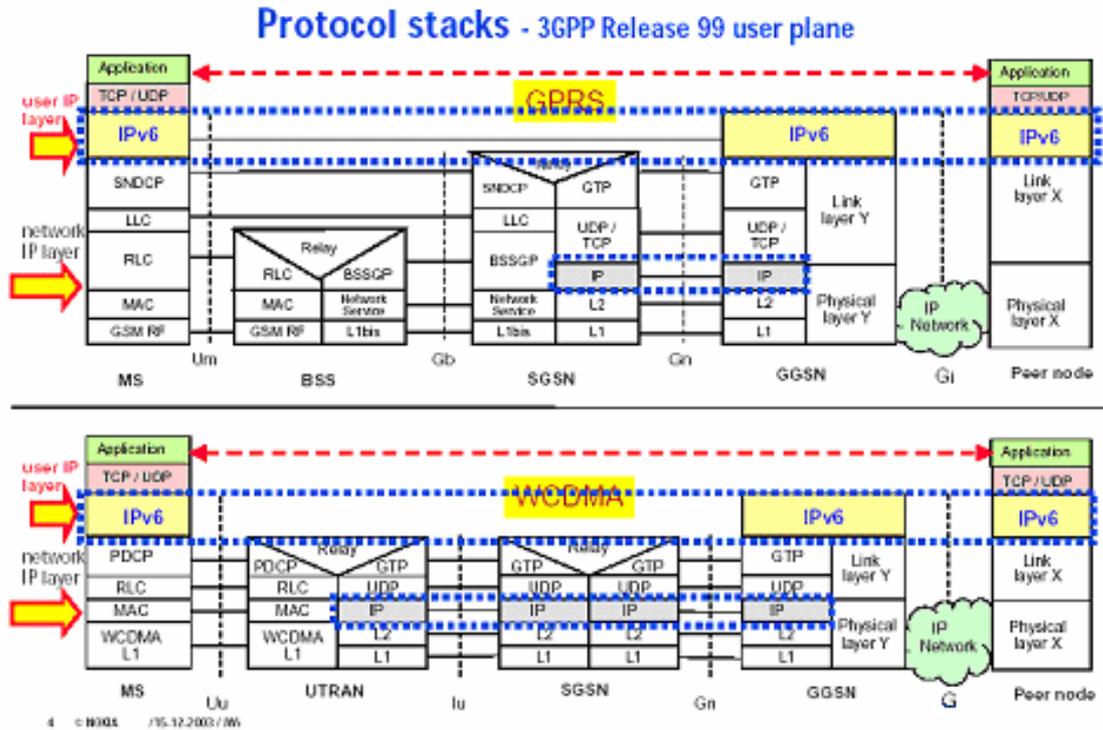
La consecución de la gran meta a través de los pasos descritos se esta forjando a través de los release de la familia CDMA2000 y UMTS (release 7 y release B respectivamente), donde existe en sus especificaciones, una armonización mutua en el encuentro del ALL IP sobre redes celulares de 3G y donde en anteriores entregas ya han planteado una propuesta de arquitectura que gracias a su filosofía de modularidad, puede funcionar aun sin que se haya incluido en forma total los requerimientos propuestos.

### **3.4.3. Stack de protocolos de 3G con el IPv6**

Del mismo modo como en las tecnologías que permiten las WLAN, se mostró la ubicación del IP y particularmente el IPv6, también en las tecnologías 3G es importante destacarlo para poder comprender su integración.

Ya desde la segunda generación de telefonía celular se habilitaba para que existiera el soporte de IPv6 en el GPRS y UMTS por medio del RFC 3316. Donde posteriormente se debieron hacer un análisis sobre la transición del 3GPP hacia IPv6 y que esta consignado en el RFC 3574 por el grupo de trabajo de la IETF v6ops.

Figura 3.9: El soporte de Ipv6 en el nivel de usuario fue totalmente introducido en el release 99 del 3GPP



### 3.4.4. Modelos de arquitecturas para 3GPP Y 3GPP2 con ALL IP

Los dos grupos de trabajo de la tercera generación ya han proyectado sus arquitecturas para la adopción del sistema “ALL IP” teniendo como eje fundamental el aprovechamiento de las características del protocolo IPv6.

Las siguientes figuras ilustran los diferentes elementos que cada uno de los grupos adopta para hacer realidad lo que a futuro se espera de las comunicaciones celulares.

Figura 3. 10: Modelo 3GPP2 y la arquitectura All-IP

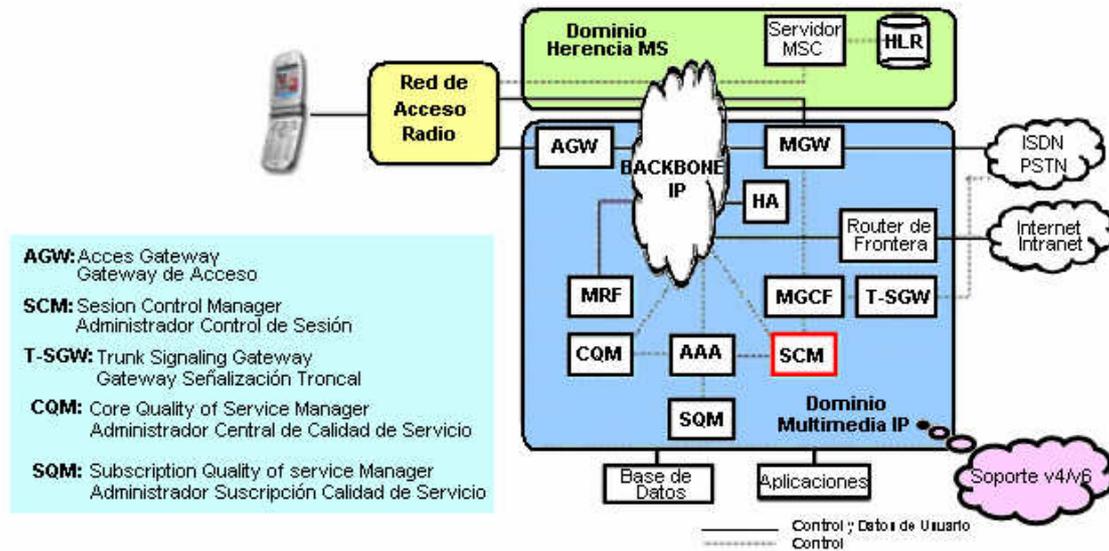
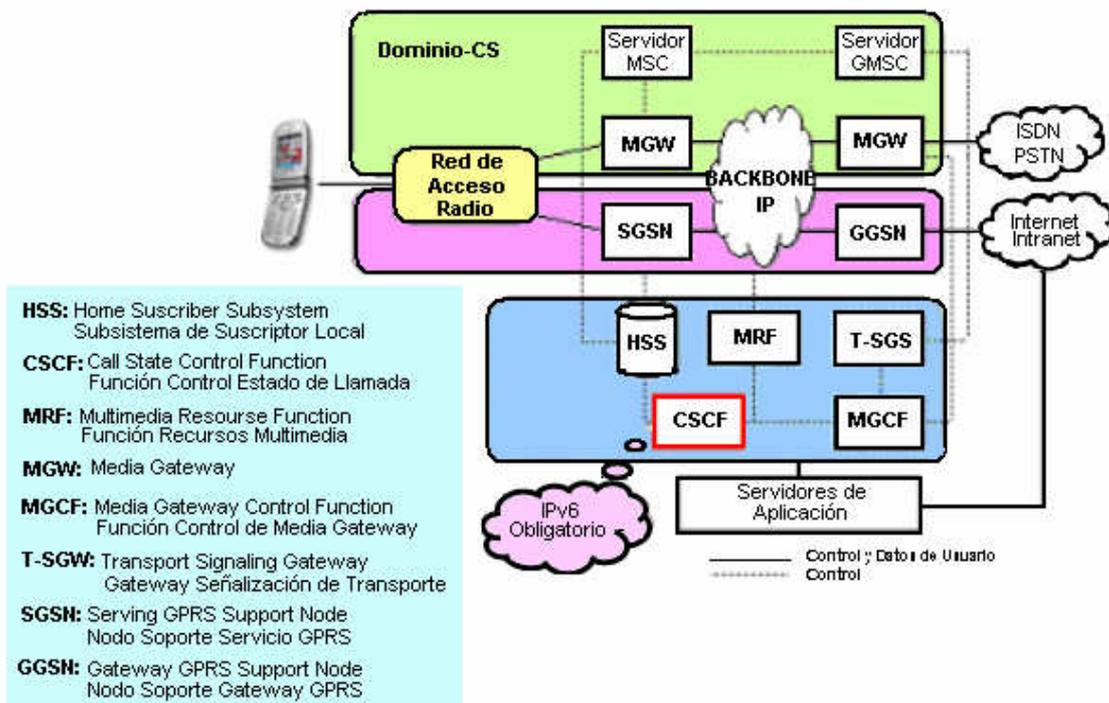


Figura 3. 11: Modelo 3GPP y la arquitectura All-IP



### 3.5. PROYECTOS Y GRUPOS DE TRABAJO

#### 3.5.1. Grupos de trabajo

La IETF genera y patrocina grupos de trabajo como: seamoby, V6ops, NSIS, PANA, MANET, MOBOPTS, PILC, NEMO, MIPSHOP entre otros en Europa; y para América latina se tienen grupos de trabajo en Cuba México y Brasil con el BRv6TF.

Estos grupos dan lineamientos para la operación en el compartimiento de recursos de red ya sea en IPv4 o IPv6, cubriendo áreas como redes ad-hoc, señalización, handover rápido, movilidad de redes etc. además sirven de guía para que los operadores de red den funcionamiento de IPv6 dentro de una red IPv4 existente o en la inicialización de una nueva red.

El objetivo general de estos grupos es asistir a la transición del próximo protocolo de Internet escogido por la IETF, en una forma suave cubriendo en lo posible todas las tecnologías de las telecomunicaciones, así como todos sus niveles administrativos, técnicos y de servicios.

Como es lógico dada la pertenencia de estos grupos a la IETF, sus trabajos, propuestas y documentos están enmarcados dentro de los lineamientos de los RFCs, que hasta el momento se hayan implantado, y las publicaciones o sugerencias que se expongan son publicados en drafts con un periodo de expiración determinado.

#### 3.5.2. Proyectos

Uno de los objetivos de la Unión Europea, desde los primeros pasos de la Sociedad de la Información, es que empresas, gobiernos y ciudadanos de Europa, desempeñen un papel destacado en el desarrollo de la sociedad del conocimiento y la información; participando activamente en ella. Para alcanzar este objetivo se han puesto al servicio medios cuyo lineamiento general es fomentar la investigación, establecer marcos normativos, favorecer desarrollos de aplicaciones y apoyar iniciativas de capacitación, en aras de sacar provecho de la Sociedad de la Información.

Bajo esta filosofía, el programa IST, (abarca todas las actividades de investigación en TIC), que forma parte esencial en las políticas de la Unión Europea para la construcción de la Sociedad de la Información, tiene como razón de ser, el contribuir al desarrollo de tecnologías y aplicaciones fáciles de usar en todas las áreas cubiertas por las políticas de eEurope: seguridad y protección de la intimidad, educación y formación, posibilidades de acceso para los enfermos y las personas de edad avanzada y con minusvalía, comercio electrónico, gobierno electrónico, sanidad en línea, transportes inteligentes, etc.

Los objetivos del programa IST para los próximos años se dirigen a asegurar el liderazgo europeo en las tecnologías que actúan sobre la sociedad del conocimiento y el punto de mira del programa IST se encuentran las tecnologías de nueva generación, a través de las cuales se podrán integrar la informática y las redes en el entorno diario, haciendo accesibles multitud de servicios y aplicaciones a través de interfaces sencillas.

Para ello y ciñéndose a las políticas de telecomunicaciones y de sociedad de la información se realiza un plan de acción los cuales enmarcan una serie de proyectos con respecto a las TICs y de los cuales solo mencionamos algunos que son afines al protocolo IPv6 y particularmente al entorno inalámbrico.

Con respecto a los proyectos de redes fijas podemos mencionar los siguientes entre otros: 6INIT, LONG, AQUILA, SEQUIN, GCAP. Los cuales persiguen mejorar los modelos de negocio, incorporar escenarios de migración de IPv4 a IPv6; dar soluciones a la integración de IPv6 con servicios de red avanzados tales como técnicas QoS, mecanismos de movilidad, soporte multicast y procedimientos de seguridad; definir, evaluar, implementar y mejorar una arquitectura que proporcione QoS de extremo a extremo dinámica en Internet; desarrollar nuevos protocolos de transporte multimedia y multicast de extremo a extremo integrados en una nueva arquitectura global para proporcionar una QoS garantizada para aplicaciones Multimedia, Multi-peer Multi-network avanzadas; diseñar y desarrollar un sistema escalable, flexible, eficiente y de bajo costo capaz de operar como una pasarela de protocolo de alto rendimiento etc.

Y para la convergencia e interconexión de diferentes plataformas de acceso vía radio se tienen proyectos entre otros los siguientes proyectos: DriVE, WINE GLASS, MOBY DICK, MIND (BRAIN), SUITED, WINE, 6WINIT, 6WLAN.

Cuyos objetivos es el suministro de servicios multimedia IP inalámbricos de alta calidad, para vehículos en un entorno heterogéneo multi-radio; explotar técnicas basadas en el nuevo protocolo IP, para soportar movilidad y QoS, garantizado por software en una arquitectura Internet inalámbrica que incorpore UMTS y WLAN, explorando su potencial para ofrecer servicios de aplicación en localización para usuarios móviles e inalámbricos; QoS de extremo a extremo capacitada para la movilidad y basada en IPv6 partiendo de los actuales AAA, Mobile-IPv6 y modelos QoS del IETF; solucionar la optimización del rendimiento de la red en contextos heterogéneos con una variedad de servicios asimétricos y entornos de radio múltiples; tratar aspectos tecnológicos para conseguir roaming entre servicios de localización; realizar especificaciones emergentes de Internet móvil/inalámbrico y UMTS/GPRS/GSM para proporcionar servicios integrados IP de extremo a extremo a usuarios móviles en mercados globales; diseñar y desarrollar redes móviles basadas en IP formadas por componentes (UMTS, GPRS, WLAN) terrestres y satelitales etc.

Se destacan dentro de estos proyectos los siguientes dado su mayor énfasis que le dan al nuevo protocolo IP:

WINE (Wireless Internet Netowrks). Estudia las tecnologías necesarias para construir una Internet inalámbrica capaz de soportar QoS y basada totalmente en IPv6, a fin de definir una solución de extremo a extremo optimizada. Implementará una plataforma de pruebas multientorno basada en Bluetooth, HIPERLAN y IEEE 802.11 para facilitar una comprensión teórica sólida de los entornos de Internet inalámbricos. Esto servirá como base para construir un nivel de adaptación IP inalámbrico configurable que pueda ser optimizado para diferentes enlaces y plataformas, con el objetivo principal de conseguir verdaderas soluciones Internet inalámbricas independientes del enlace radio.

6WINIT (IPv6 Wireless INternet IniTiative). Esta iniciativa pretende introducir en Europa el nuevo Internet inalámbrico móvil, basado en una combinación de protocolos inalámbricos

e IPv6 (GPRS y UMTS). El proyecto establecerá y validará una de las primeras iniciativas de Internet Móvil 3G e IPv6 operativas, con clientes que tengan puntos de acceso y servicios IPv6 nativos en un entorno 3G. Enlazará con infraestructuras cableadas IPv6 existentes, con énfasis en los dominios de M-Commerce y clínicos.

*DAIDALOS (Designing Advanced network Interfaces for the Delivery and Administration of Location independent, Optimised personal Services).*

Proyecto que tiene como punto de partida las bases dejadas por el proyecto Moby Dick el cual proponía que los pilares fundamentales de la 4G eran la Movilidad, AAA y la QoS. La meta de Daidalos es la integración de tecnologías de redes heterogéneas que permitan al operador de red y a los proveedores, ofrecer nuevos y lucrativos servicios, dando un BW amplio y personalizado, en voz, datos y multimedia; 46 miembros de empresas y la academia están trabajando en este ambicioso proyecto.

Sus objetivos en general son diseñar prototipos y validar las componentes de la infraestructura necesaria para una distribución eficiente de servicios sobre diversas tecnologías más allá de las 3G; Integrar tecnologías de red complementarias para la penetración de acceso a estos servicios; desarrollar y optimizar sistemas de señalización para la comunicación y el soporte de administración en estas redes y demostrar los resultados del trabajo a través de usuarios centralizados y escenarios basados en el desarrollo de la tecnología.

En España existe un importante programa de interconexión de recursos informáticos llamado: RedIRIS: red académica y de investigación nacional que es patrocinada por el Plan Nacional de I+D y gestionada por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas españolas. Cuenta con unas 250 instituciones afiliadas, principalmente Universidades y Organismos Públicos de Investigación, que llegan a formar parte de esta comunidad mediante la firma de un acuerdo de afiliación.

Los servicios de comunicaciones de la RedIRIS son proporcionados en colaboración con otras redes académicas y foros internacionales y bajo el soporte de una infraestructura básica de transporte adaptada tecnológicamente a las necesidades de los centros e instituciones usuarias.

Bajo la tutoría de este programa y con la financiación del programa IST de la Unión Europea se han desarrollado proyectos como el BRIAN y su consecuente: el MIND.

El proyecto MIND (Mobile IP-based Network Developments) está formado por los principales operadores, centros de investigación y fabricantes en Europa para investigar la extensión de redes de acceso vía radio basadas en IP, para incluir elementos ad-hoc e inalámbricos conectados a redes fijas. El proyecto MIND es sucesor de un proyecto anterior llamado BRAIN (Broadband Radio Access over IP Networks). BRAIN desarrolló un marco de trabajo para la implantación de tecnologías de acceso de gran ancho de banda usando como ejemplo HIPERLAN/2 que podría ser complementaria a las tecnologías celulares de 3G.

El objetivo del proyecto es evaluar la viabilidad de la implantación de redes celulares futuras en un entorno completamente IP, y estudiar el soporte que ofrecen las redes fijas

actuales. Para ello se hace necesario que los terminales sean de gran capacidad y que ejecuten aplicaciones multimedia mientras se mueven, por lo que las redes de acceso deben proporcionar al menos el protocolo IPv6 (para dar cabida a un número indeterminado de terminales), una movilidad eficiente, y por supuesto ciertas garantías de QoS.

Desde el punto de vista de las aplicaciones y su demostración, el MIND utilizará la plataforma ISABEL, desarrollada por Ágora Systems, para estudiar el problema de la implantación de una plataforma multimedia de este tipo en un entorno móvil, evaluando el impacto y las interacciones.

En América latina y con la estrategia de promoción de IPv6 en la región de LACNIC, los proyectos propuestos, aun son de carácter de interconexión de IPv6 con los sitios 6Bone de Latinoamérica, Red nativa de IPv6 por Internet2 en Latinoamérica (**RedCLARA**) y generación de nuevos grupos de trabajo para América latina y del Caribe.

### 3.6. LA 4G, NGN O UBIQUIDAD COMO OBJETIVO FINAL

La tendencia actual de integrar todo tipo de servicios en una única infraestructura de red IP, conocida como modelo "Todo IP" (All-IP), ha puesto de manifiesto las carencias que tienen las soluciones IP clásicas en temas como la capacidad, la calidad de servicio, la seguridad y la fiabilidad. Para solucionar estos problemas han aparecido en el mercado multitud de equipos, técnicas, tecnologías y protocolos, que combinados de una manera adecuada pueden permitir la realización de modelos de red que proporcionen, tanto al cliente corporativo como al cliente residencial, todo tipo de servicios multimedia. Estos modelos son llamados, en el mundo de las telecomunicaciones, modelos de Red de Nueva Generación o Next Generation Network (NGN).

La NGN son la antesala de los que algunos entendidos ya han denominado el amanecer de la cuarta generación o B3G la cual estará formada por la integración de las redes bajo el paradigma de estar basadas completamente en los protocolos de Internet (TCP/IP), aquí el protocolo jugara un papel destacado en el segmento de los radio enlaces, el Handover y el roaming; mientras que el IPv6 como tal será el corazón de este gran megaproyecto.

Es obvio que también deben integrarse a esta iniciativa, las nuevas redes de acceso radio inalámbricas (IEEE 802.11, 16 y 20, y Flash OFDM) y las redes 3,5 G (como HSDPA, CDMA 1xEVDO, etc.), coexistiendo de forma más o menos coordinada con las tecnologías preexistentes, con los nuevos servicios y con unos terminales cada vez más fascinantes y versátiles, convertidos en computadores por su concepción, arquitectura y por la flexibilidad que aportan a la introducción de nuevos servicios.

Los objetivos básicos de esta nueva generación de telecomunicaciones son:

- *Un escenario heterogéneo: acceso WLAN, más red fija, más red celular, más IP.* Esto es, el acceso al usuario en movimiento no se realizará exclusivamente a través de una sola solución radio, sino que dependiendo del tipo de movilidad que tuviera y de los requerimientos de tráfico, podrían coexistir distintas interfaces radioeléctricas.

Además, estas interfaces deberían tener en cuenta que el tráfico IP (por paquetes) tendrá una proporción muy grande respecto del total.

- *Unos terminales válidos en los distintos escenarios.* Los terminales deben adaptarse a las distintas interfaces y a los diferentes requisitos de tráfico.
- *Una capacidad escalable en la interfaz radio: una asignación dinámica de espectro.* Por medio de la escalabilidad y el análisis de las soluciones de asignación dinámica de espectro, se quieren evitar los problemas de falta de espectro y las consiguientes asignaciones por subasta, que supusieron tantas dificultades a la industria de las telecomunicaciones en la implantación del sistema UMTS.

Las nuevas problemáticas que se avecinan, como, por ejemplo, la gestión de los contenidos, la evolución de las redes celulares hacia redes de nueva generación (NGN), la pugna con las tecnologías de acceso radio no específicamente móviles (UMTS versus WiFi o WiMAX), la eterna búsqueda de la aplicación ideal o *killer application* (generadora de flujos de caja masivos), o el conjunto de capacidades básicas o *killer features* (que permitirá a cada usuario hacerse su *killer application* a medida), hacen que el sector todavía tenga por delante un margen de evolución importante en búsqueda de *la ubicuidad* asumida esta como la aparición de una serie de tecnologías las cuales tienen como característica: que ya no trabajaran independientemente, si no que se integraran en búsqueda de la Q&S basada en la movilidad, ancho de banda optimo, conectividad permanente y seguridad.

La amplia gama de tecnologías que en el presente se ofrecen para dar al usuario mejores servicios son el resultado de una continua evolución e investigación en el área de las telecomunicaciones y se debe esperar que en el futuro este ritmo cambiante continuara con mayor ahínco tanto por factores técnicos como por factores de negocio y competitividad.

Es indispensable que frente a este fenómeno, las instituciones, empresas y en general la población concerniente a las telecomunicaciones, deben estar atentos a esta permanente dinámica, con el objetivo de no rezagarse a esta nueva forma de globalización en que se desarrolla la sociedad.

El protocolo IP siempre ha sido el núcleo en el tratamiento de la información digital a nivel de datos y por sus características particulares estos no exigían una entrega en tiempo real, pero al evolucionar las necesidades de la sociedad de consumo ha provocado que el protocolo se optimice, para poder brindar nuevas alternativas acordes con los requerimientos del usuario final.

Es así como el IPv6 es una propuesta que día a día toma mayor fuerza, y los diferentes grupos de trabajo pueden crear, proponer discutir y definir estándares que como meta final lo que se quiere es lograr la prestación de una serie de servicios basados en la integración total de las tecnologías actuales y emergentes.

#### 4. CRITERIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y DISEÑO DE LAS PROPUESTAS

##### 4.1. INTRODUCCIÓN

La movilidad de un usuario mientras accede a la Internet mediante el uso del protocolo en una amplia gama de características y tecnologías asociadas, fue la temática de los capítulos predecesores; el presente capítulo pretende condensar y aterrizar dicho referente teórico al medio en estudio de este trabajo de grado - La Red de Datos de la Universidad del Cauca - ciñéndose además a criterios y aspectos importantes para el diseño e implementación de una red inalámbrica.

En la escogencia de una solución tecnológica para el acceso a Internet, no solo se debe tener en cuenta los costos mensuales del proveedor o la velocidad de transmisión, como únicos factores, si no que además las ventajas y desventajas de las tecnologías disponibles, los costos adicionales de cada plan y los valores agregados, cobran gran relevancia en el momento de elección.

Para ello independientemente de las posibilidades o desventajas que cada una de las tecnologías posea para ser manejadas como solución, se presentarán y evaluarán en forma general aquellas que han iniciado o ya cuentan con gran difusión en nuestro medio, con el objetivo de obtener argumentos sólidos que permitan en el capítulo siguiente plantear varias propuestas de diseño y determinar la que mejor se adapte a los requerimientos de los usuarios y a una serie de criterios de tipo económico, técnico y social.

Otro aspecto muy importante es el de advertir que dentro del diseño planteado y su posible futura implementación, el pleno desempeño del solo podrá evidenciarse cuando otras instituciones implementen en sus redes el protocolo MIPv6, para que así existan en forma real en nuestro medio una red local y otra foránea, agregando como segunda condición que las zonas iluminadas por cada una de estas redes deberán traslaparse en algún punto, para que se de un pleno handover entre redes de diferentes instituciones, las cuales además previamente deberán haber realizados acuerdos de AAA para poder autenticar en cada red foránea los nodos móviles que en su momento visitaran cada red. Dado que en el presente solo a la Universidad del Cauca se le plantea una propuesta de movilidad sobre el IPv6, la misma debe ser considerada como una solución a nivel intradominio, sin embargo una vez implementada la propuesta se pueden generar prácticas de análisis de desempeño de la red inalámbrica y su adecuado handover sobre por medio del aislamiento de subredes desde el nivel tres dentro de la R.D.U.C. así al designar en cada subred un agente local con sus respectivos nodos móviles a su "carga" y por supuesto su respectivo rango de direcciones para ser usadas como home address y/o CoA podrá evidenciarse y aprovecharse para realizar análisis en forma concreta sobre las ventajas que el protocolo ofrece. Se plantea como sugerencia previa que cada facultad cree su subred inalámbrica independiente desde el nivel tres, así con routers y servidores de autenticación para cada una de ellas no solo proporciona un ambiente de prácticas tecnológicas sino que refuerza la seguridad a la red inalámbrica en su conjunto. En el capítulo 5 se plantea un rango de direcciones que manejaría cada router dentro de cada facultad y su subred inalámbrica.

## 4.2. ASPECTOS IMPORTANTES PARA LA PLANEACION Y DISEÑO DE LAS PROPUESTAS

Con el objetivo de proporcionar las pautas para que la propuesta planteada se pueda transformar en un diseño que brinde en el futuro una solución real en la Red de Datos de la Universidad del Cauca, se maneja dos aspectos: el *estratégico* y el *de criterios*.

### 4.2.1. Estratégico

La adopción y adaptación de los pasos que genera un modelo de diseño de un sistema de comunicaciones inalámbrico, el cual ha sido creado gracias a la experiencia que al respecto han tenido organizaciones académicas e ingenieros que se desempeñan en la implementación de soluciones inalámbricas bajo el protocolo IPv4. Dado que el protocolo IPv6 solo ha realizado su verdadero cambio a nivel de red, la metodología de trabajo en los niveles inferiores para diferentes aplicaciones en redes cableadas o inalámbricas no varía significativamente.

### 4.2.2. Criterios

Su objetivo es enmarcar la propuesta dentro de los mismos, para que ella pueda cumplir con un nivel base de calidad y desempeño, independiente de la tecnología y forma de implementación adoptada. Estos criterios se expondrán en recomendaciones y servirán de parámetro evaluativo para cada factor que se ha tenido en cuenta dentro de la propuesta elaborada.

#### ➤ Seguridad

Integridad de la información intercambiada desde y hacia la red por parte de sus usuarios mediante la adopción de políticas de seguridad. Estas políticas deben hacerse extensibles también para los recursos y dispositivos que en algún momento se usen, desde el punto de vista:

- **Físico**

Prevenir deterioro por factores atmosféricos o de causas humanas.

- **Lógico**

Correo electrónico seguro, inicio de sesión con tarjeta inteligente, firmas electrónicas entre otros.

- **Administrativo**

Renovación regular de las credenciales y las claves utilizadas; métodos, estrategias o políticas claras para la inscripción de usuarios y el acceso de clientes a la red.

Por otro lado estas medidas de seguridad no deben tener un impacto negativo en la capacidad de uso de la red y no deben dar lugar a un incremento significativo en solicitud de atención para solución de problemas del funcionamiento de la red.

### ➤ **Escalabilidad**

Posibilidad de escalabilidad para soportar niveles de uso superiores en el futuro, en aspectos como el incremento en el número de usuario, requerimientos de nuevos servicios y adopción de nuevas tecnologías. Esto obliga a que el diseño propuesto sea abierto tanto tecnológicamente como al crecimiento en usuarios y aplicaciones.

### ➤ **Reutilización de componentes**

Posibilidad de reutilización de los componentes tanto SW como HW si es el caso y siempre que sea posible. La solución debe reutilizar la infraestructura existente y los proyectos futuros deben poder reutilizar los nuevos componentes introducidos por la implementación realizada inicialmente.

La infraestructura de administración y supervisión existente debe poder acomodarse a la nueva solución sin mayor dificultad así como también el diseño debe ser compatible con gran variedad de clientes y dispositivos.

### ➤ **Disponibilidad**

Resistencia a errores de componentes individuales, y si se presentan esto no debe afectar necesariamente todo el sistema inalámbrico ni mucho menos los servicios de red cableada existente.

Esto hace que el diseño quede sujeto a tener una filosofía modular donde todos sus componentes trabajen en forma integral pero a su vez que su funcionamiento no dependa del conjunto del sistema.

### ➤ **Capacidad de administración**

Integración con las soluciones de administración corporativa existentes, esto debe incluir la supervisión del sistema y del servicio, la creación de copias de seguridad, la administración de la configuración, etc. Para ello se debe partir de aspectos como: gestión de usuarios por medio de la planeación y administración de las direcciones IP tanto para los usuarios como para los dispositivos que hacen parte de la solución.

### ➤ **Cumplimiento de las normas**

La solución debe cumplir con las normas industriales y oficiales actuales, tomando en cuenta los diferentes parámetros aplicables para cada región o país, garantizando además no causar interferencias o molestas a terceros en el emplazamiento de dispositivos o emisión de frecuencias radioeléctricas.

### ➤ **Ancho de banda (BW) / velocidad de transmisión**

La solución debe buscar proveer un BW que permita a sus usuarios como mínimo tener acceso a los servicios básicos de la Red de Datos de la Universidad del Cauca en unos rangos de calidad acordes con los que hasta el momento se presten en el medio, teniendo como referencia el factor costo para su implementación y mantenimiento.

### ➤ **Tipos de aplicaciones que van a correr**

Inicialmente se debe pretender dar servicios de acceso a Internet, correo electrónico, consultas a base de datos y transferencia de archivos; las aplicaciones que consumen alto ancho de banda tales como transferencia de video e imágenes, videoconferencia, audio/video streaming, deben irse insertando luego de que se haya culminado la fase de implementación y se haya evaluado su desempeño e impacto dentro de la zona afectada.

### ➤ **Área de cobertura**

Debe existir un equilibrio de las diferentes zonas a cubrir, en aspectos como la necesidad real, potenciales usuarios, seguridad y relación costo beneficio. Se deben tener en cuenta también las características particulares de cada "subzona" como lo son: los materiales con que están construidos, las interferencias y ubicación geográfica, las características físicas y/o lógicas etc.

### ➤ **Interfaz con la red existente**

Los mecanismos para la funcionalidad integral de la red cableada e inalámbrica deben pretender buscar una interoperabilidad fiable, segura y de re-uso máximo de los recursos ya existentes, con el fin de minimizar costos y/o dependencia de terceros.

### ➤ **Disponibilidad de productos en el mercado**

En el momento de adquisición de dispositivos, los proveedores deben tener una amplia trayectoria de garantía tanto a nivel tecnológico como de negocio con la institución; así mismo los dispositivos deben cumplir con condiciones de escalabilidad, adaptabilidad y manejar sistemas abiertos para poder en el futuro realizar la adopción de nuevas tecnologías si así lo amerita el diseño.

## **4.3. ESTUDIO PRELIMINAR**

### **4.3.1. Análisis del entorno**

La zona objetivo es toda el área perteneciente a la Red de Datos de la Universidad del Cauca tanto a nivel indoor como outdoor. Para un adecuado manejo se ha dividido esta

## CAPITULO 4. CRITERIOS PARA LA PLANEACION Y DISEÑO DE LAS PROPUESTAS

---

zona por características de ubicación geográfica, definiendo a las siguientes facultades como sitios donde el proyecto tendrá su aplicación:

Facultades de Ciencias Agropecuarias, Medicina, Tulcán, Ingenierías, Educación, Vicerrectoría de cultura, El Carmen, S/domingo, Artes y Casa Caldas. Los planos de los edificios se presentan posteriormente junto con los dispositivos y área de cobertura en cada facultad.

En la *Tabla 4. 1* se describen las características generales que presentan los diferentes sitios a la cual se pretende dar la solución inalámbrica delimitando por número de zonas, asignadas según su ubicación geográfica.

### **4.3.2. Características lógicas e infraestructura existente**

En el aspecto lógico, la U.C cuenta con un amplio rango de direcciones IPv6 que se puede manejar en un único o dividir en múltiples niveles y así distribuirlos internamente entre sus dependencias, todo lo anterior mediante el adecuado manejo de los campos SLA ID o NLA ID.

Con respecto a la planeación y administración de estas direcciones por parte del ente encargado para la gestión de la red inalámbrica, se sugiere que inicialmente su manejo dentro de la R.D.U.C. se haga en forma estática para hacer una observación y seguimiento en aspectos de desempeño pero mas primordialmente con lo que respecta a seguridad; posteriormente ir introduciendo las ventajas que el protocolo IPv6 y mas específicamente el ofrece, como son la no triangulación mediante la asignación dinámica de direcciones IP.

En el futuro cuando el protocolo IPv6 y las tecnologías de acceso inalámbrico hayan demostrado y se haya difundido su viabilidad, necesariamente la red inalámbrica que nació con una serie de restricciones, deberá ser sometida a una replanteamiento para hacer mas eficiente la prestación de sus servicios.

Con respecto a infraestructura existente se cuenta con pocos dispositivos óptimos para que sirvan de construcción de la red inalámbrica que se pretende proponer, sin embargo la propuesta ceñida al criterio de reutilización de componentes sugiere que en el momento de su implementación, se haga uso de dispositivos que en la actualidad puedan estar subutilizados como es el caso de PCs, Switches e infraestructura para el emplazamiento de antenas.

**Tabla 4. 1:** Características de la zona objetivo

<b>Nª SZ</b>	<b>EDIFICIOS INVOLUCRADOS</b>	<b>CARACTERISTICAS FISICAS</b>	<b>CARACTERISTICAS TECNOLOGICAS</b>	<b>PROYECCION DE USO DE SISTEMAS INALAMBRICOS</b>
1	Fac. de Medicina	Sitio cerrado, de una área pequeña, construido con materiales atenuantes de señal; 3 pisos por cubrir.	Deficiencia en equipos disponibles para los estudiantes y de salas de acceso a Internet.	Predisposición de uso, dada la escasez de recursos aportados por la institución y la temática que se maneja.
2	IPET; ing. Elec., Física, Civil	Mixto en densidad de árboles y sitios cerrados. Construido con materiales atenuantes de señal; 3 pisos por cubrir.	Con un adecuado recurso de dispositivos para el acceso a la red de datos.	Para los usuarios de residencias universitarias es importante la propuesta por las ventajas que esta implica.
3	Educación, Div. de Sistemas, Biblioteca	Mixto densidad de árboles y sitios cerrados construidos con materiales atenuantes de señal; 3 pisos por cubrir.	Los equipos son óptimos, pero la densidad de usuarios es alta.	Existe escepticismo en el pleno uso de esta nueva tecnología.
4	Museo natural, el carmen, s/domingo, artes, casa caldas.	Perímetro con gran densidad de edificaciones, cerrados, y calles angostas, sitios cerrados construidos con materiales que atenúan en menor medida las señales; 2 y 3 pisos por cubrir.	Equipos excelentes, densidad de personal para el uso de recursos baja	Uso muy discreto por parte de el personal que permanece dentro de este edificio.
5	Las guacas	Abierto, poca densidad de árboles, construido con materiales atenuantes de señal; 1 pisos por cubrir.	Equipos adecuados, uso mediano de los recursos que hoy poseen	Existe interés para el análisis y aplicabilidad en su área de trabajo.

#### **4.3.3. Análisis de interferencia**

Debido a las ventajas que proporciona las redes inalámbricas y la clasificación de dispositivos electrónicos, hace que sobretodo en el sector centro y de ingenierías exista una densidad media de interferencia, esto se pudo analizar por el sondeo empírico mediante un portátil dentro de las diferentes áreas de interés a cubrir; aun así este nivel no es dramático para el desarrollo de la propuesta pero si es un aspecto a considerar y buscar subsanar cuando en el futuro cobre un mayor auge las tecnologías inalámbricas en nuestro medio.

#### **4.3.4. Comportamiento de los potenciales usuarios**

En este análisis se recogieron muestras en forma de entrevistas sobre los diferentes sitios donde se pretende aplicar el proyecto, evaluando sus actividades mas cotidianas en el uso de la red, las necesidades que en el presente afrontan y que expectativas tienen frente a la propuesta como solución del problema de movilidad en la Red de Datos de la Universidad del Cauca.

Como conclusión de este ejercicio se puede afirmar que el interés por la temática y sus posibles beneficios dependen de las áreas de estudio en que se desenvuelve la comunidad académica y laboral de la universidad dando el siguiente cuadro donde se ha elaborado la escala es de mayor a menor.

En la facultad de ciencias de la salud, los desarrollos científicos en el campo de la medicina a nivel mundial y como la tecnología se ha convertido en pieza fundamental para el excelente desempeño de estas actividades frente a la comunidad, son las razones que el personal administrativo de la facultad de ciencias de la salud exponen en pro de apoyo frente a la iniciativa que se les presento a manera de propuesta.

Seguidamente tenemos a la facultad de ingeniería electrónica; como era de esperarse su enfoque de interés fue diferente al anterior, en el sentido que su lineamiento es de carácter investigativo de las tecnologías como tal y como ellas pueden adaptarse para el servicio de nuestro medio luego así la temática del proyecto es vista y evaluada con base en el aporte de nuevo conocimiento dentro de la facultad.

El resto de facultades tienden a ser indiferentes frente a la panorámica del proyecto, y es comprensible dadas sus condiciones de trabajo las cuales se centran en el estudio y análisis a partir de material bibliográfico que pueden encontrar en cada una de sus respectivas bibliotecas. Sin embargo el personal administrativo de la Universidad del Cauca, tiene inquietud sobre la viabilidad a nivel de negocio como un servicio complementario pero que debe ser remunerado por parte de los usuarios finales o población afectada por el proyecto.

Los aspectos anteriores debieron ser complementados con los resultados de estudios hechos por anteriores proyectos de grado donde se puede comentar lo siguiente al respecto:

## CAPITULO 4. CRITERIOS PARA LA PLANEACION Y DISEÑO DE LAS PROPUESTAS

---

El stack de protocolos de mayor utilización en el backbone es TCP/IP, lo cual es lógico debido a la naturaleza misma de la Red, donde todos sus usuarios son reconocidos sobre la base de direcciones IP, y donde todos los servicios se fundamentan en la red TCP/IP bajo estas condiciones un usuario típico de la red de la universidad del Cauca genera mayor tráfico mediante la utilización de http y ftp.

Esta radiografía nos da un bosquejo para proyectar el comportamiento que tendrán los futuros usuarios inalámbricos que buscaran la aplicación de servicios mediante dispositivos móviles donde de seguir esta tendencia el protocolo de mayor uso será el TCP/IP, una razón mas para buscar su optimización mediante la evolución del IPv6. Así mismo y observando que el mayor uso es http y ftp, nos determina que el BW que un usuario haría en un sistema inalámbrico sería de 300 y 500 kbps.

Con lo anterior se puede concluir en primera estancia que la implantación de tecnologías móviles en la Red de Datos de la Universidad del Cauca desde el punto de vista de los usuarios debe estar sujeta a prioridades de necesidad y uso, lo que trae como consecuencia que en el momento de su implementación se realice por fases tanto a nivel de conectividad como de servicios.

Bajo estas condiciones la propuesta final debe cumplir con un requisito de modularidad donde cada facultad en forma independiente pueda adquirir y administrar su red inalámbrica sin que tener que esperar a que el resto de la universidad se coloque a la par para iniciar su desarrollo tecnológico, este factor será determinante en el momento de la elección de la tecnología que se usara en el planteamiento de la propuesta.

### **4.4. DEFINICION DE LA TECNOLOGIA A USAR PARA LA IMPLEMENTACION**

#### **4.4.1. Tecnologías celulares frente al perfil del proyecto**

La tendencia que últimamente se ha venido dando en el sector de las telecomunicaciones en pro de migrar a dar servicios de movilidad y con la filosofía de "All IP", brinda expectativas para las empresas e instituciones en nuestro medio.

Concretamente en la Universidad del Cauca, en el departamento de telemática se ha gestionado y se ha logrado la adquisición de unas radio-bases de Ericsson, las cuales pretenden brindar la oportunidad para la investigación y prueba de nuevos protocolos de servicios móviles, dentro de los cuales debe tenerse muy en cuenta el presente protocolo de estudio, el MIPv6.

Es esta una de las razones para no descartar de plano el de considerar como alternativa la implementación y aplicación de servicios móviles bajo el protocolo IPv6 en la R.D.U.C. sobre un rango de frecuencia licenciado, más aun cuando la 3G esta cobrando madures en los países desarrollados y las transformaciones sociales y económicas del mundo nos obligan a estar abiertos para afrontar los cambios de los paradigmas tradicionales.

En el presente las características de cobertura y dinamismo en la conexión a Internet a través de las redes GSM nacionales, ofrecen servicios y planes que pueden ser considerados adecuados para el usuario final, con la posibilidad de que en el futuro este sistema pueda complementarse con las tecnologías que trabajan en el espectro no licenciado.

Por lo anterior debe entrar en juego esta tecnología junto a otras que se describen más adelante como opcionales para el desarrollo del presente proyecto.

### **4.4.2. Tecnologías en espectro no licenciado frente al perfil del proyecto**

Existe gran expectativa en las tecnologías 802.11n, 802.16e o 802.20 a un corto o mediano futuro gracias a sus técnicas MIMO y a la modulación HSDPA, lo cual les provee una eficiencia de trabajo óptima. Estas tecnologías están avanzando y prometen alcanzar velocidades de hasta 100 Mbps convirtiéndolas en un incipiente competidor móvil en zonas urbanas; de hecho, los fabricantes de terminales y PDAs ya están preparando productos capaces de conectarse a una red Wi-Fi, GSM o UMTS en función de lo que más le convenga al usuario en cada momento. Sin embargo en el entorno de aplicación del presente proyecto se debe optar con lo que hasta el presente se cuenta en el mercado, esta plenamente estandarizado y con un grado de madures tecnológico óptimo.

Bajo esta premisa la gama de alternativas de la 802.11x se enmarca en los estándares a, b ó g y en los productos precertificados de la tecnología 802.11n: los PRE-N DE BELKIN; los primeros tres poseen a nivel mundial una amplia trayectoria de prueba e implementaciones; se ha comprobado sus ventajas y se han encontrado sus debilidades. Dentro de la facultad sus características han sido difundidas y su rendimiento o desventajas han sido estudiados, en otros casos experimentados. Gracias a esto existe un recurso humano e intelectual que respalda el conocimiento que en el presente se tiene en nuestro medio con respecto a estas tecnologías.

Frente a las tecnologías 802.11n y WIMAX aunque ofrecen grandes expectativas se debe esperar sus resultados prácticos y dependiendo de ello en un futuro realizar la transición si así lo exigen las condiciones de nuestro entorno.

Todo lo anterior nos conlleva a que la implementación en términos generales se realizara mediante el uso de una tecnología que trabaje en una banda de frecuencia no licenciada, plenamente madura y estandarizada o sea las WLAN.

Universalmente las WLAN utilizan las frecuencias de 2.4 GHz (802.11b/g) y 5 GHz (802.11a). El hecho de utilizar una, tiene muchas implicaciones, entre otras que la frecuencia más baja (2.4 GHz) ofrece mejor propagación, extendiéndose más del doble de cobertura que la frecuencia de 5 GHz. Este aspecto cobra gran importancia dentro del diseño de la propuesta ya que se debe equilibrar entre *cobertura, BW, escalabilidad, numero de usuarios y servicios que se quieran dar al usuario fina y por supuesto costo.*

#### **4.4.3. Ventajas y desventajas de cada una de las tecnologías frente al perfil del proyecto**

##### ➤ **Ventajas de tecnología celular**

- Tiene el mismo cubrimiento de los servicios de voz, es decir, casi todo el territorio nacional. Por lo tanto brinda una excelente cobertura a la red de datos de la U.C.
- Al estar gestionado el servicio directamente por la empresa proveedora, la seguridad no solo estaría respaldada por el protocolo IPv6 como tal, si no por el filtraje que en forma particular debe garantizar las tecnologías celulares.

##### ➤ **Desventajas de tecnología celular**

- Baja velocidad y poca capacidad de almacenamiento en usos de la Web o del correo electrónico.
- Sitios habilitados para WAP son escasos.
- Debido a que algunos equipos como el Treo 650 o 700 se compra en puntos de venta diferentes a los centros de servicio de los operadores celulares (Comcel) el equipo no está configurado previamente para acceder a los servicios.
- Al tener que estar ligado a un proveedor particular el costo de los servicios prestados por el, se ubican muy por encima de la capacidad de pago de los usuarios convirtiéndose en este el factor más determinante para descartar el uso de estas tecnologías que trabajan sobre frecuencias licenciadas.

##### ➤ **Ventajas tecnologías en espectro no licenciado**

- Para la R.D.U.C. es importante ya que en forma autónoma puede, implementar, gestionar y administrar su red inalámbrica.
- El costo que inicialmente deba pagar en equipos, mano de obra calificada y servicios profesionales, a futuro se transforman en un activo patrimonial.
- Para los usuarios el uso de la misma se refleja en un adecuado BW y un costo en los servicios prestados representado solo en los equipos HW.

##### ➤ **Desventajas tecnologías en espectro no licenciado**

Aquellas que son inherentes a las tecnologías inalámbricas como es sus problemas de seguridad, interferencia por otros sistemas al trabajar sobre un rango de frecuencias que progresivamente se satura más.

#### **4.4.4. Justificación de la tecnología**

Bajo las anteriores consideraciones queda claro que la opción tecnológica a tener en cuenta para el desarrollo y planteamiento de la propuesta de movilidad sobre la Red de Datos de la Universidad del Cauca es mediante la utilización de tecnologías WLAN que usan rangos de frecuencia no licenciadas.

Dentro de la gama de tecnologías que en este espectro de frecuencia se desarrollan se opto por escoger la 802.11g por razones de compatibilidad con la 802.11b y por que presenta características semejantes a la 802.11 a.

Las tecnologías wimax, 802.11n y 802.20, a pesar que presentan expectativas muy prometedoras, aun no están plenamente estandarizadas y los dispositivos que las soportan aun no están certificados.

#### **4.5. INTERCONEXION DE LOS DIFERENTES DISPOSITIVOS INALAMBRICOS DESDE EL USUARIO HASTA LA RED CABLEADA**

Para poder delimitar competencias debemos ubicarnos dentro del contexto de aplicación del proyecto. Para ello se ha dividido la R.D.U.C. en tres estructuras lógicas diferenciadas:

##### ➤ **Red troncal**

Es la infraestructura donde converge todo el trafico digital de la Universidad del Cauca, cuyos afluentes son las diferentes tipos de redes de enlace que atienden e interconectan todas y cada una de las facultades del campus universitario.

##### ➤ **Red de enlace**

La red de enlace la forman nodos que se interconectan entre sí dentro del conjunto de nodos de acceso de la comunidad. Formando así la red de la comunidad. Es el puente entre la red troncal y las redes de acceso.

##### ➤ **Red de acceso**

Es la puerta que permite a un usuario final conectarse a la RED DE DATOS DE LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA ya sea para obtener un servicio de información local o como puerta de enlace para Internet.

Las tres redes anteriores funcionan en un alto porcentaje vía cableada y fibra óptica y los enlaces radioeléctricos se aplican para enlazar dos subredes de la universidad del cauca.

La presente propuesta como se ha venido planteando busca formar una red de acceso en forma inalámbrica bajo los beneficios del protocolo IPv6, bajo estas características se hace necesario y luego de haber definido la tecnología con que se trabajara, analizar en

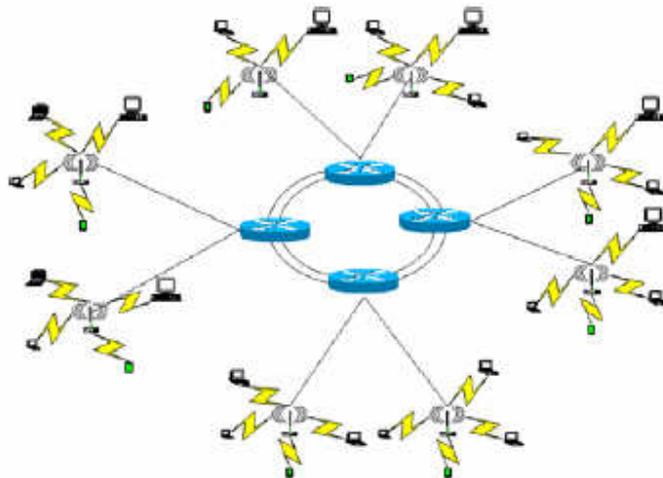
forma aislada los niveles de funcionamiento mínimos técnicos que deberá tener esta red de acceso a si como las condiciones de interconexión que tendrán los diferentes dispositivos que participan en el sistema a construir.

### 4.5.1. Descripción de la red de acceso

Esta red estará formada por nodos distribuidos por las diferentes zonas a las que se pretende dar cobertura mediante el presente proyecto. Para conectarse a un nodo de acceso a la infraestructura y obtener los servicios de la Universidad del Cauca, será suficiente disponer de un dispositivo que sea compatible con la tecnología que finalmente se implemente sobre la RED DE DATOS DE LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA. De antemano se ha de advertir que este acceso de los usuarios deberá estar enmarcado a las políticas y condiciones que para ello maneje hoy y a futuro la institución.

La *Figura 4. 1* ilustra como se pretende lograr que cualquier usuario de cualquier zona pueda compartir recursos con otro usuario en el caso que pertenezcan a la misma o de diferentes zonas de cobertura en particular. Para ello tenemos que interconectar entre sí los nodos ya sea por la red de enlace o por la red troncal.

*Figura 4. 1: Estructura de interconexión de nodos inalámbricos*

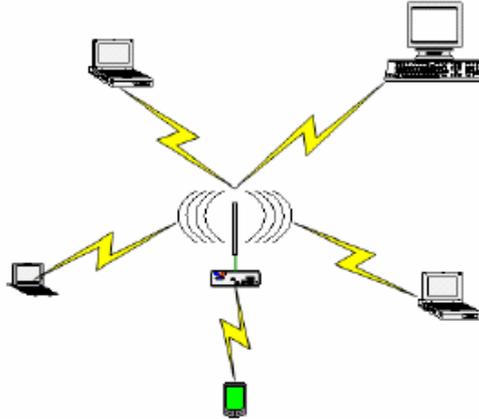


Teniendo todos los nodos de la misma comunidad interconectados entre ellos, dos usuarios situados cada uno en un extremo de la U.C podrían establecer los mismos servicios que ofrece la red cableada de la R.D.U.C. bajo el protocolo IPv6.

#### ➤ Aspectos a considerar en el segmento desde el usuario al AP

El presente análisis pretende tomar un solo NAs para determinar su funcionamiento teórico.

**Figura 4. 2:** Nodo de acceso (NA) aislado.



- **Margen de operación del sistema – S.O.M.**

Es importante determinar el SOM para que al final del diseño del enlace tenga una buena recepción y por ende se pueda trabajar en condiciones óptimas; lo anterior se traduce en que el valor de potencia que llega al receptor sea mayor al del valor mínimo que indica la sensibilidad del mismo. Y como estrategia para garantizar un buen desempeño con los diferentes fabricantes, los cuales proporcionan diferentes niveles de sensibilidad se ha de realizar los cálculos con aquellos que manejen valores más críticos.

En el calculo del SOM participan la potencia del transmisor, las atenuaciones de cables y conectores, el aporte de amplificadores u atenuadores, las ganancias de las antenas, la atenuación de espacio libre y los elementos implicados en recepción con sus parámetros característicos, donde la sensibilidad esta cuantificada la velocidad en Mbps a la que puede llegar la transmisión de datos en el enlace.

Es importante recordar que tanto en el equipo de transmisión como en el de recepción, las impedancias de cables, conectores, antenas y demás dispositivos debe ser la misma; esto para cumplir con el teorema de máxima transmisión de potencia

Teniendo en cuenta todos estos factores, se define el margen de operación del sistema SOM, como la diferencia de lo que llega al receptor menos la sensibilidad del mismo para la mejor condición deseada.

$$\text{SOM} = P_{RX} - S_{RX}$$

Teniendo en cuenta las siguientes fórmulas:

## CAPITULO 4. CRITERIOS PARA LA PLANEACION Y DISEÑO DE LAS PROPUESTAS

---

**Potencia de Recepción:**  $P_{RX} = P_{TX} - L_{lx} - L_{ctx} + G_{tx} - L_{fs} + G_{rx} - L_{rx} - L_{crx}$

**Perdidas de Espacio Libre:**  $L = 32,45 + 20 * \log d[ Km ] + 20 * \log f[ Mhz ]$

Donde:

$P_{RX}$  = Nivel de señal en la recepción (dBm)

$P_{TX}$  = Potencia de salida del Transmisor (dBm)

$L_{fs}$  = Pérdidas de espacio libre (dB)

$G_{tx}$  = Ganancia de la Antena de Tx (dBi)

$G_{rx}$  = Ganancia de la Antena de Rx (dBi)

$L_{tx}$  y  $L_{rx}$  = Pérdidas en las líneas de Tx y Rx (dB)

$L_{ctx}$  y  $L_{crx}$  = Pérdidas por conectores en Tx y Rx (dB)

Para obtener una comunicación confiable entre las antenas de los APs y los dispositivos portátiles, se aconseja que el System Operating Margin sea de un valor positivo, entre más alto mucho mejor, por lo tanto se buscarán dispositivos y accesorios que permitan subir este margen para de esta manera obtener un SOM que nos garantice una comunicación viable.

Para nuestro caso se realiza el cálculo en las circunstancias más críticas o sea en un punto donde el usuario puede estar más alejado de un AP dentro del área de cobertura manejada. Para ello se concluyo que la distancia más critica es de 150m la cual se presenta en el sector céntrico sobre la Cra 4 vía la Facultad de Educación, ya que allí solo puede tener acceso a la red mediante el AP ubicado en el edificio el Carmen o el que lo reciba en el edificio de Educación.

Para los cálculos iniciales se supondrán antenas de 15+/-2 dBi y potencia de Tx de 15dBm, valores que pueden estar sujetos a modificaciones dependiendo del S.O.M resultante y de la recomendación del Ministerio de Telecomunicaciones.

CAPITULO 4. CRITERIOS PARA LA PLANEACION Y DISEÑO DE LAS PROPUESTAS

Tabla 4. 2: S.O.M.

SECCION	FACTOR	VALOR
TRANSMISOR	• Potencia de salida	13 dBm
	• Pérd Pigtail(1.3dB) /conectores(0.9dB)/ Lighting Protector (0,4 dB).	2.6 dB
	• Ganancia de antena	15dBi
	<b>TOTAL EN TX</b>	<b>25.4dBm</b>
PROPAGACIÓN	Pérdida en espacio libre $L = 32,45 + 20\log(0.320Km) + 20\log(2400MHz) = 90.15dB$	83.57 dB
RECEPTOR	• Ganancia de antena	0
	• Sensitividad de receptor	-68dBm
	• Potencia recibida en RX	58.17dBm
	<b>S.O.M. = <math>P_{RX} - S_{RX}</math>.</b>	<b>9.83 dB</b>

• **Cobertura en interiores**

Gracias a la colaboración de la institución del SENA y por medio del Ing. Víctor Mosquera, se creo un NA y mediante portátiles se observo el desempeño en estos ambientes cerrados; para ello se tomo un transmisor de +13 dBm y una computadora portátil, se comenzó a movilizarse por los diferentes pasillos, anotando la tasa de velocidad en los lugares en que se necesite cobertura, los datos arrojados fueron asociados a la velocidad obtenida con la sensitividad de la tarjeta inalámbrica en diferentes puntos y distancias dentro de cada salón esto permitió confeccionar un mapa en donde se describe la mancha de cobertura real en sitios cerrados.

Las conclusiones de este ejercicio pueden ser adaptadas a los sitios cerrados de las distintas facultades de la Universidad del Cauca, donde se recomienda que en el momento de la implementación se elabore los mapas de cobertura con escalas de velocidad de acceso dentro de cada facultad y así obtener datos reales de desempeño del sistema en estos ambientes.

La presente propuesta buscará ubicar los diferentes NA estratégicamente para que en lo posible se garantice un buen desempeño en áreas abiertas, sin dejar de lado la posibilidad de cubrir sitios cerrados que cobran importancia dentro de cada facultad en forma particular.

### ➤ Aspectos a considerar desde el AP a la red cableada

#### • Seguridad

La razón que hace tan populares a las redes inalámbricas es acceso a recursos de cómputo sin necesidad de cables, pero esta característica se convierte también en el problema más grande que deben solucionar en cuanto a seguridad se refiere.

Motivo por el cual dentro de una organización, institución o empresa debe dársele gran importancia a esta área; partiendo de la base que la seguridad no es una meta sino un proceso, inherente a el, un ciclo de vida donde cuyas fases de monitoreo, prueba y mejora deben continuamente estar en revisión y evolución; esto condiciona a la creación de políticas de seguridad integrales en los diferentes niveles: física, de recurso humano, en la infraestructura de red, en los recursos etc.

Como resultado de estas políticas de seguridad deben aparecer estrategias para cada nivel mencionado, como por ejemplo en el sector de red y acceso a los recursos se debe apoyar en tecnologías que ayudan a asegurar la información que viaja a través de la red, como son los IDS, servidores antivirus, software antispam, servidores de control de contenido, firewall etc.

Cuando la institución o empresa en particular desee agregarle el componente inalámbrico, estas políticas deben ser revisadas y reforzadas dado la vulnerabilidad que la tecnología presenta. Al final del ejercicio debe evaluarse si realmente la red inalámbrica que se va a implementar puede considerarse como segura bajo el cumplimiento de los siguientes requisitos:

- Las ondas de radio deben confinarse tanto como sea posible, mediante el empleo de antenas direccionales y configurando adecuadamente la potencia de transmisión de los puntos de acceso. En la Universidad del Cauca, pierde sentido este método dado que el acceso por parte de personal no perteneciente a la institución es incontrolado.
- Debe existir algún mecanismo de autenticación en doble vía, que permita al cliente verificar que se está conectando a la red correcta, y la red constatar que el cliente está autorizado para acceder a ella, en este nivel participan los servidores de autenticación como RADIUS en asocio con la versatilidad de los dispositivos puente entre los usuarios y el servidor mencionado. Dado el grado de competencia de mercados, cada vez mas los proveedores de dispositivos ofrecen mejores garantías para adaptar los métodos de configuración segura de una red inalámbrica (Filtrado de direcciones MAC, WEP, VPN, 802.1x, WPA etc.), tal es el caso de QVPN50 de Linksys, el cual es un paquete de software para configuración de clientes VPN basadas en el router Wireless-G VPN de Linksys y en plataformas Windows 2000 y XP.
- Los datos deben viajar cifrados por el aire, para evitar que equipos ajenos a la red puedan capturar datos mediante escucha pasiva. El protocolo IPsec maneja adecuadamente este aspecto en el nivel de red, protegiendo y

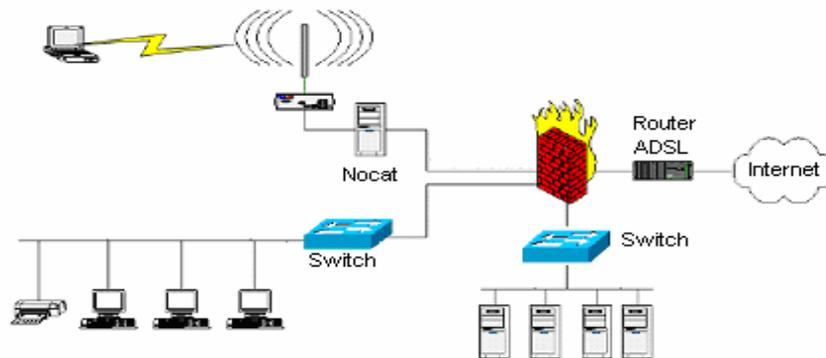
autenticando los paquetes IP entre los dispositivos que participan en la conexión, permitiendo confidencialidad, integridad y autenticación en la información intercambiada.

Los métodos por adoptar en la Red de Datos de la Universidad del Cauca en el momento de implementar una solución inalámbrica deberán ser escogidos bajo criterios claros y responsables, teniendo en cuenta que cada uno brinda diferentes niveles de seguridad, los proponentes de la presente propuesta recomiendan la combinación de varios de ellos dentro de la gama que hoy existen (*Filtrado de direcciones MA; ,Wired Equivalent Privacy, WEP; Las VPN, 802.1x; WPA, WI-FI Protected Access*) para apostarle por un sistema avanzado, dentro de los niveles de seguridad.

- **Dispositivos que participan en la solución inalámbrica propuesta**

Debe usarse un dispositivo para que controle el tráfico entre la red inalámbrica y la red interior para ello se recomienda el uso del Nocat ya que por medio del cual se puede capturar una petición de usuario y redirigirle a una página de bienvenida donde se le pedirá nombre de usuario y contraseña.

**Figura 4. 3:** Dispositivos en la solución inalámbrica



Esto permite mantener un registro de los usuarios que ingresan a la red mediante la tecnología inalámbrica además de controlar el ancho de banda de la red. Otro elemento que se debe agregar es un firewall el cual se encarga de restringir el acceso a la red interna y a determinados servicios.

Aplicado estos conceptos al proyecto se debe disponer en cada zona un kit que realice la gestión descrita antes, con condiciones de ubicación física y lógica optima para evitarse costos tanto en atenuación de señales como económicos. Si existiera más de un AP en una zona geográfica determinada estos deben antes concentrarse en un switch para poder mantener el control de los usuarios inalámbricos mediante un solo firewall en esa zona.

La organización de los equipos planteada proporciona una seguridad en el aspecto de la informática y transmisión de información digital, pero si se quiere buscar una seguridad integral debe abarcarse todos y cada uno de los tópicos, elementos y recursos humanos, participando ellos en forma cohesiva en esta área; se debe considerar además las condiciones en que hoy se desenvuelven las actividades de la U.C. y su relación con el entorno.

Por lo tanto consideramos que se hace necesario el inicio de un proyecto enfocado netamente a la temática de seguridad, donde no solo abarque aspectos de seguridad tecnológica y de redes, sino que se extienda a todos los ámbitos: físico, lógico radioeléctrico, permisividad de de acceso de personal y dispositivos a las instalaciones de la RED DE DATOS DE LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA etc. y así con un marco plenamente definido de seguridad, puedan surgir e implementarse proyectos ceñidos a los parámetros especificados.

El resultado general de este planteamiento provocaría un sentido de pertenencia de la institución y la toma de conciencia sobre el uso de los diferentes bienes y servicios de su universidad.

Bajo esta premisa, afirmamos que antes de implementar la presente propuesta se inicie por la fase de investigación diseño e implementación de seguridad de las redes inalámbricas aplicadas a nuestro medio.

### **4.5.2. Capacidad y número de usuarios**

Los estándares de las WLAN definen diferente número de usuarios conectados simultáneamente a un punto de acceso (AP). Es obvio afirmar que a mayor número de usuarios conectados a una WLAN, menor será el desempeño de la misma. A pesar que teóricamente las tecnologías 802.11x manejan entre 30 y 60 usuarios conectados simultáneamente, se debe trabajar muy por debajo de este nivel o sea un máximo de 10 usuarios por AP en forma simultanea si realmente se desea dar un servicio con Q&S.

Con lo anterior y considerando que las probabilidades de uso por AP en una tecnología 802.11x de cada usuario se ha estimado en unos 500kbps, se puede decirse en principio que la calidad del servicio para atender 10 usuarios por AP es aceptable, sin embargo todo este análisis debe estar sujeto a comprobaciones experimentales y si es necesario generar los correctivos que si lo exija en la implementación del proyecto.

### **4.5.3. Zona afectada o cobertura**

Habiendo definido ya la tecnología a utilizar en el planteamiento de la propuesta, las formas de cobertura distinguidas por el tamaño de las áreas de cobertura, las condiciones técnicas y niveles mínimos de desempeño de los diferentes dispositivos tanto en funcionalidad como en seguridad, nos damos paso al planteamiento y escogencia de una propuesta que mejor se ajuste a las necesidades de nuestro cliente como es la R.D.U.C. este ejercicio se realiza en el siguiente capítulo y su desarrollo debe estar enmarcado dentro de las generalidades que en el presente se han planteado.

## **5. PROPUESTAS PARA LA IMPLEMENTACION DE MOVILIDAD SOBRE IPv6 EN LA RED DE DATOS DE LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA**

### **5.1. INTRODUCCIÓN**

El actual capítulo presenta cada una de las propuestas en un diseño de movilidad sobre el protocolo MIPv6, para luego ser evaluadas y definir finalmente cual se recomienda como posible implementación dentro de la Red de Datos de la Universidad del Cauca (R.D.U.C.).

En términos generales la primera propuesta pretende dar un servicio de datos inalámbricos a usuarios de la R.D.U.C. solo en sectores que estén dentro de su jurisdicción, para ello se aprovecha de la flexibilidad tecnológica de los dispositivos y de las características físicas de los sectores como tal. En la segunda propuesta se retoma lo que se ha logrado con la primera y se expande las zonas de cobertura hacia sitios exteriores de las instalaciones de la Universidad del Cauca, buscando una interconexión radioeléctrica de las celdas que inicialmente se tenían iluminando de forma aislada.

Esta forma de diseño, fue desde un principio realizada en forma deliberada, como una manera de propuesta integral, para permitir al final obtener un producto flexible, escalable. Considerando siempre a la R.D.U.C. como una gran red cableada que paulatinamente debe iniciar una transición al mundo inalámbrico, gestándose en niveles y puntos que por criterios internos de la misma así lo considere; luego de esto y una vez logrado que un alto porcentaje de sus enlaces físicos soporten acceso inalámbrico, el paso al handover de sus usuarios debe ser de una forma transparente y versátil; para ello la búsqueda de traslapar celdas ya existentes es el paso lógico para obtener una real movilidad, es allí donde la segunda propuesta cumple con su condición de no constituirse como un diseño aislado e independiente, si no como evolución de la primera solución.

Se reitera que cada propuesta ha sido elaborada para el soporte del protocolo IPv6, bajo su característica de movilidad, que es en esencia la temática del presente proyecto y que da la característica innovadora del actual trabajo.

Finalmente las zonas de cobertura que en el presente se proponen fueron elaboradas bajo perspectivas de comportamiento de los diferentes usuarios, áreas de interés de los mismos, entre otros factores; lo que a su vez condiciona que a futuro y dependiendo de la evolución de la tecnología y de las exigencias de los usuarios, estas zonas estén supeditadas a ajustes o a cambios según las condiciones de nuestro medio o a los desarrollos tecnológicos.

### **5.2. PROPUESTAS PARA LA IMPLEMENTACION DE MOVILIDAD SOBRE IPv6 EN LA RED DE DATOS DE LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA**

La propuesta final debe estar constituida en dos partes: una asignación física de dispositivos HW que permitan el acceso inalámbrico de host móviles IPv6 y otra parte lógica o sea un rango de direcciones para cada facultad o subred. Estos dos aspectos

deberán mantener la condición de independencia y modularidad tanto a nivel físico como lógico.

Teniendo en cuenta el trabajo del grado: PROPUESTA DE MIGRACION DE LA RED DE DATOS DE LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA HACIA LA TECNOLOGIA IPv6 SOBRE REDES ETHERNET DE ALTA VELOCIDAD, realizada en su momento por los estudiantes **VICTOR ALBERTO HERMIDA QUINTERO y WILLIAM JAMES RODRIGUEZ ORTIZ**; se tienen en cuenta sus recomendaciones como es el caso de asumir (por las ventajas técnicas y económicas) la forma de la Pila Dual como la solución técnica a implementar para un entorno de Red como el de la Universidad del Cauca, donde los potenciales usuarios de IPv6 pueden estar dispersos por todas las subredes del campus universitario independiente de que usen host fijos o móviles (estos últimos deberán correr en sus dispositivos el MIPv6).

### **5.2.1. Plan de numeración para la red MIPv6 de la R.D.U.C.**

Dentro de la asignación de direccionamiento nuevo y por ende la dotación de conectividad de cada una de las redes al backbone, el plan de numeración móvil para la Universidad del Cauca debe ubicarse con base a lo que la R.D.U.C. ya posee con respecto a el rango de direcciones y proyectos anteriores que han trabajado sobre esta temática, tanto en forma teórica como practica.

La Universidad del Cauca tiene asignado una estructura de direcciones Globales Agregables (bloque pNLA 3FFE:8070:1024::/48) con capacidad para distribuir las internamente en diferentes rangos de direcciones IPv6, (mediante el uso del campo SLA ID y el campo NLA ID); se sugiere la adopción de *la división en múltiples niveles* (detallada en el trabajo de grado de que se menciona anteriormente ); donde se asigna un prefijo /53 a cada sector y/o dependencia de la Universidad del Cauca disponiendo así de  $2^5$  o 32 subredes para sectores y/o dependencias, la cual en forma tentativa quedaría como se muestra en la *Tabla 5. 1*.

De esta forma, cada sector o dependencia está en capacidad de direccionar y enrutar  $2^{11}$  o 2048 sitios finales, es en estos 2048 sitios finales donde cada dependencia puede tomar uno de ellos y dejarlo como red para movilidad independiente y aislada (mediante el uso de VLAN).

CAPITULO 5. PROPUESTAS PARA LA IMPLEMENTACION DE MOVILIDAD SOBRE IPv6 EN LA RED DE DATOS DE LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA

**Tabla 5.1:** Direccionamiento IPv6 de múltiples niveles para Unicauca

SECTOR Y/O DEPENDENCIA UNICAUCA	No DE SUBRED	BLOQUE DE DIRECCIONES
IPET	Subred 1	3FFE:8070:1024:1::/53
Ingenierías	Subred 2	3FFE:8070:1024:2::/53
Santo Domingo	Subred 3	3FFE:8070:1024:3::/53
El Carmen	Subred 4	3FFE:8070:1024:4::/53
Artes	Subred 5	3FFE:8070:1024:5::/53
Casa Rosada	Subred 6	3FFE:8070:1024:6::/53
Caja de Previsión	Subred 7	3FFE:8070:1024:7::/53
Archivo Histórico	Subred 8	3FFE:8070:1024:8::/53
Casa Caldas	Subred 9	3FFE:8070:1024:9::/53
VRI	Subred 10	3FFE:8070:1024:A::/53
Educación	Subred 11	3FFE:8070:1024:B::/53
Física y Química	Subred 12	3FFE:8070:1024:C::/53
CDU	Subred 13	3FFE:8070:1024:D::/53
Ciencias Agropecuarias	Subred 14	3FFE:8070:1024:E::/53
Medicina	Subred 15	3FFE:8070:1024:F::/53
Hospital	Subred 16	3FFE:8070:1024:10::/53
-----	-----	-----
Ultima Subred	Subred 31	3FFE:8070:1024:19::/53

A manera de ejemplo se toma la subred de Ingenierías para mirar como seria la asignación de la red de movilidad dentro de esta dependencia.

**Tabla 5.2:** Direccionamiento IPv6 de múltiples niveles para Ingenierías

<b>Ingenierías</b>	<b>Subred 2</b>	<b>3FFE:8070:1024:2::/53</b>
--------------------	-----------------	------------------------------

SECTOR Y/O DEPENDENCIA INGENIERIAS	BLOQUE DE DIRECCIONES
Laboratorio de control.	3FFE:8070:1024:2:1::/64
Laboratorio de digitales.	3FFE:8070:1024:2:2::/64
Sala de profesores	3FFE:8070:1024:2:3::/64
Decanatura	3FFE:8070:1024:2:4::/64
Cafetería	3FFE:8070:1024:2:5::/64
-----	-----
<b>Red de movilidad.</b>	<b>3FFE:8070:1024:2:x::/64</b>
-----	-----
Ultimo sitio	3FFE:8070:1024:2:7FF::/64

Nótese que cada dependencia funcionaría como una red autónoma con capacidad de administrar y asignar  $2^{64}$  o 18,446,744,073,709,551,616 ( $1.84 \times 10^{19}$ ) direcciones IPv6 del tipo Global Agregable a cada host de cada una de sus subredes; luego entonces la subred de movilidad tiene la capacidad de albergar a  $2^{64}$  ( $1.84 \times 10^{19}$ ) host móviles.

Como cada dependencia (IPET, Ingenierías Santo, Domingo, El Carmen etc.) posee su propia subred móvil (lógicamente aislada entre si de las otras subredes móviles de las otras dependencias), entre todas y cada una de ellas hace el papel de red foránea para las otras subredes móviles, pero en su conjunto y en asocio con los otros sitios de cada dependencia formarían una nube IPv6 pertenecientes a una única red, la R.D.U.C.

Planteada esta propuesta de direccionamiento lógico para la red de movilidad sobre el MIPv6 en la R.D.U.C se procede a realizar las diferentes propuestas de acceso para los nodos móviles.

### 5.2.2. Propuesta No 1

➤ **Nombre**

Celdas confinadas solo a los sectores internos de la Universidad del Cauca.

➤ **Objetivo**

Minimizar el acceso lógico de personal no autorizado, con propósitos de afectar negativamente componentes SW o HW de la R.D.U.C. o en búsqueda de beneficiarse de los servicios que la misma ofrece a todos sus usuarios.

➤ **Descripción**

Para cumplir con el objetivo, las zonas de cobertura deberán estar limitadas sólo a las instalaciones de la Universidad del Cauca, buscando al máximo no permitir el desborde de radiación hacia la parte exterior.

Esto inducirá que las celdas sean proporcionales a cada sitio específico de cobertura, provocando como consecuencia sombras entre cada una de ellas, traduciéndose en zonas iluminadas aisladas. Por lo tanto no puede hablarse de que existe un handover interdominio sino una portabilidad; la movilidad solo se dará a escala intradominio.

➤ **Especificación de la cobertura**

El área de cobertura para cada zona y por ende el número de APs dispuestos en cada edificio, se realizó bajo criterios especificados en el anterior capítulo, tanto en factores de necesidad como de uso, y proyectados a las diferentes facultades.

También cada AP posee una primera nomenclatura de subíndices, donde el primer número identifica al dispositivo como tal, mientras que el segundo posiciona el número de piso dentro de la edificación en particular.

Se hace uso de planos y mapas de cada sitio específico como complemento visual de las zonas que se pretenden cubrir, allí entra en juego una segunda nomenclatura, que es el color del subíndice, el cual tiene relación directa con los canales de no traslape de la tecnología 802.11g. Con base en ello se ha determinado la siguiente descripción por sectores:

- **Facultad de Ciencias de la Salud**

- **Primer piso**

*Tabla 5.3: Distribución de dispositivos en el piso 1 de la Facultad de Ciencias de Salud*

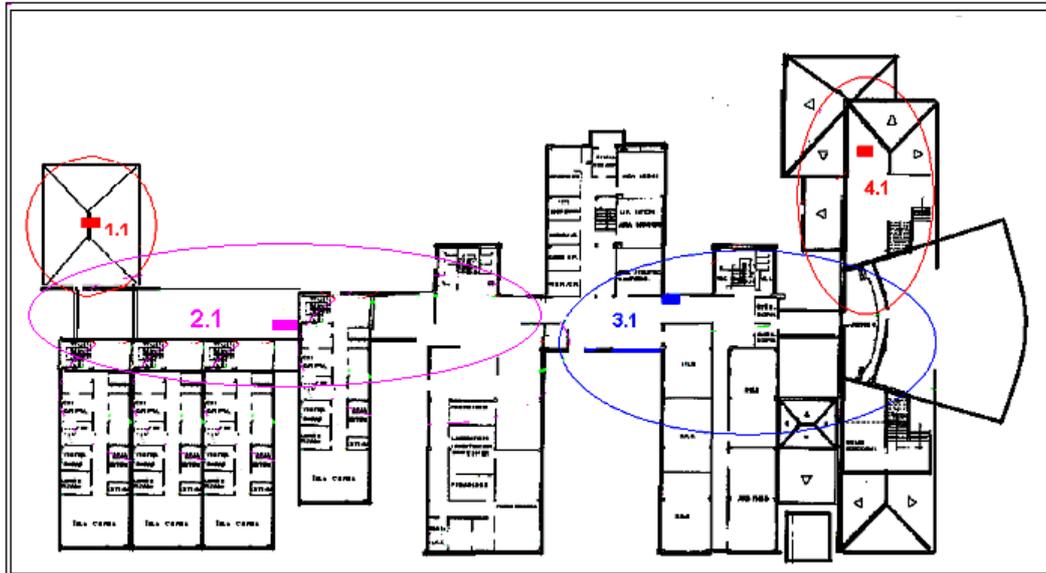
DISPOSITIVO	UBICACIÓN	CANTIDAD	ZONA ILUMINADA
AP <sub>2.1</sub>	Pasillo salida al parqueadero.	1	Pasillo 1 piso desde el salón 138 al parqueadero, parquecitos, salones conexos, morfología, laboratorio microscópico
AP <sub>3.1</sub>	Pasillo frente salón 201	1	Laboratorio bioquímica programa E.S.E. salón 201 y pasillos
AP <sub>4.1</sub>	Pasillo Decanatura	1	Decanatura, secretaria de admisiones, oficina postgrado, departamento enfermería,
AP <sub>1.1</sub>	Auditorio José Illera Restrepo	1	Auditorio.

- **Segundo piso**

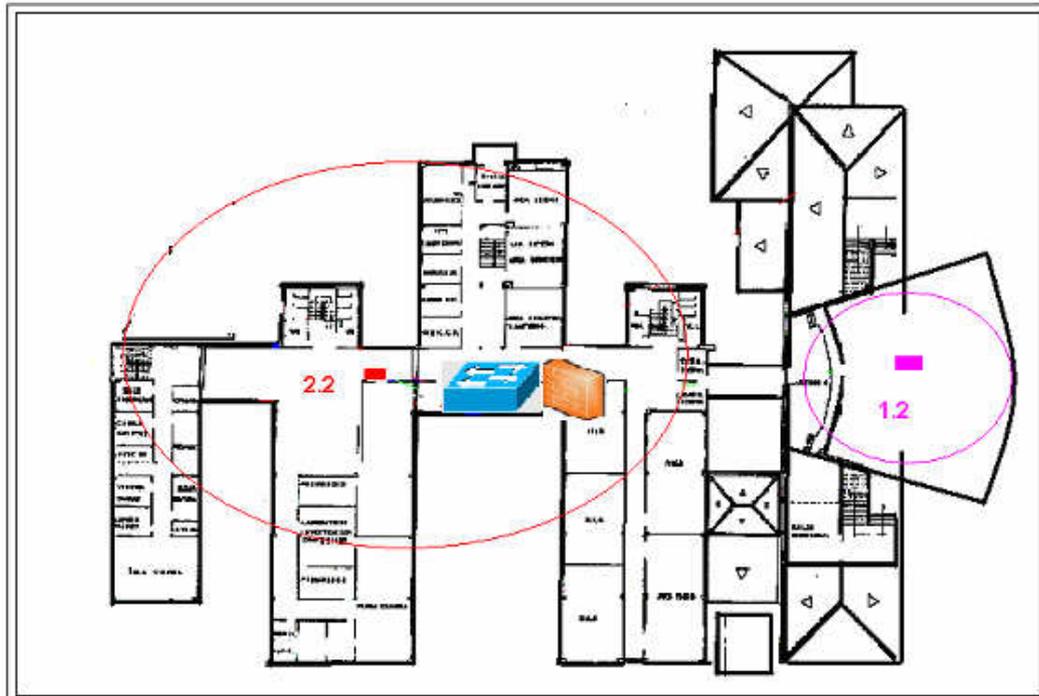
*Tabla 5.4: Distribución de dispositivos en el piso 2 de la Facultad de Ciencias de la Salud*

DISPOSITIVO	UBICACIÓN	CANTIDAD	ZONA ILUMINADA
AP <sub>1.2</sub>	Auditorio Principal	1	Auditorio Principal en su parte interna.
AP <sub>2.2</sub>	Pasillo frente 211	1	Departamento de fisioterapia, laboratorio de microbiología, coordinación tecnológica, promoción de la salud, laboratorio de fisiología programa de fisioterapia, salón de reuniones.

**Figura 5. 1:** Zonas iluminadas en el Piso 1 de la Facultad de Ciencias de la Salud



**Figura 5. 2:** Zonas iluminadas en el Piso 2 de la Facultad de Ciencias de la Salud



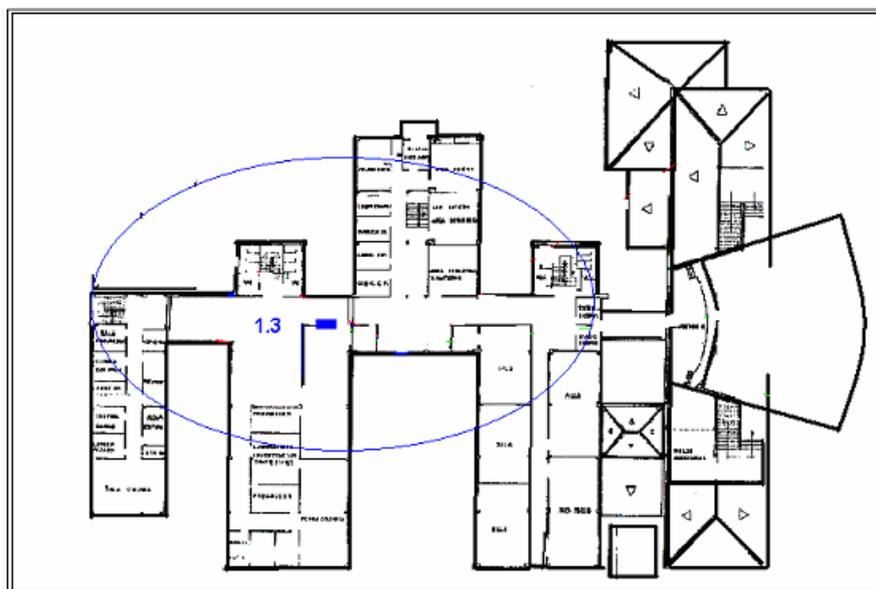
En la sala del Departamento de ciencias fisiológicas, se ubicará el SWITCH y el PC que concentrará y controlará el tráfico inalámbrico de la facultad de Medicina.

- Tercer piso

**Tabla 5. 5:** Distribución de dispositivos en el piso 3 de la Facultad de Ciencias de la Salud

DISPOSITIVO	UBICACIÓN	CANTIDAD	ZONA ILUMINADA
AP <sub>3.1</sub>	Frete: grupo investigación enfermería	1	EHAS: Departamento de salud social: (307); Departamento: ciencias fisiológicas laboratorio de enfermedades infecciosas, endocrinología y diabetes

**Figura 5. 3:** Zonas iluminadas en el Piso 3 de la Facultad de Ciencias de la Salud



Los dispositivos totales necesarios en la Facultad de Ciencias de la Salud, se resumen en la *Tabla 5.6*

**Tabla 5.6:** Total de dispositivos en la Facultad de Ciencias de la Salud

CANTIDAD	DISPOSITIVOS
7	AP
8	Puntos de la Red
7	PoE
1	PC
1	Switch

- **Sector de Tulcán, Ingenierías, nuevo edificio Facultad de Ciencias contables y Educación**

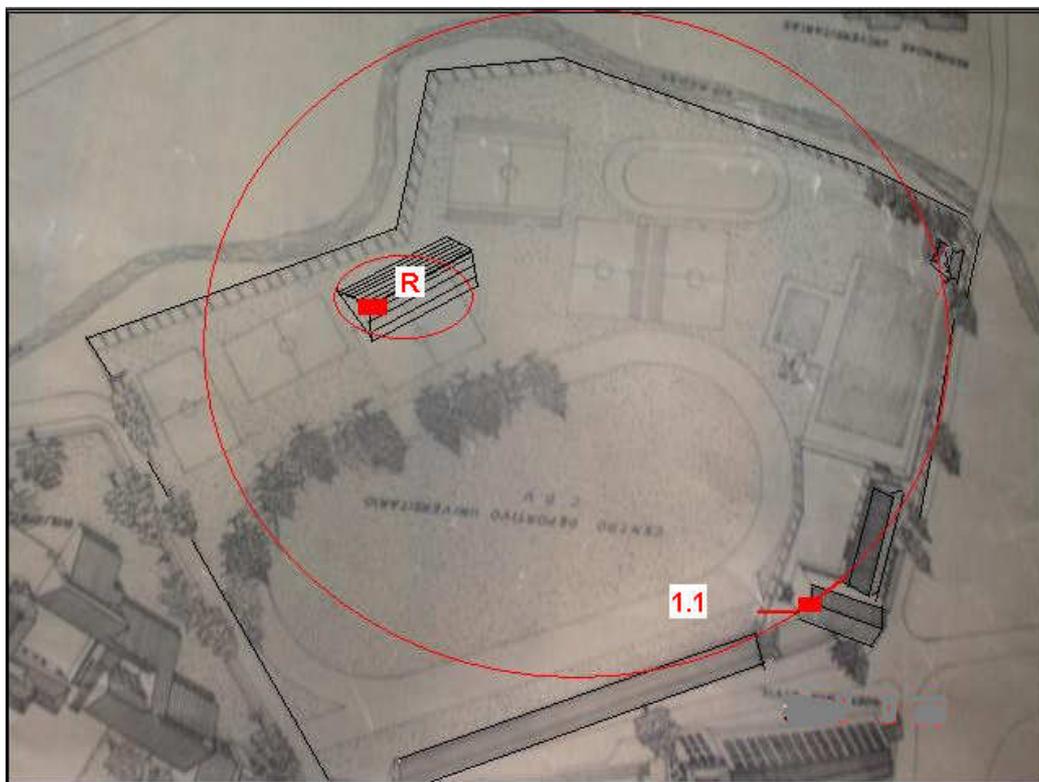
- **Sector Tulcán**

*Tabla 5.7: Distribución de dispositivos en el sector de Tulcán*

DISPOSITIVO	UBICACIÓN	CANTIDAD	ZONA ILUMINADA
AP <sub>1.1</sub>	Salón TK/WDO	1	Parte norte de centro deportivo Tulcán
Antena 120 <sup>a</sup>	Salón TK/WDO	1	Coliseo y cancha de básquet y parte sur de centro deportivo Tulcán.
AP <sub>R</sub>	Sobre coliseo Tulcán	1	Coliseo y cancha de básquet y parte sur de centro deportivo Tulcán.

En la *Figura 5. 4*, se puede observar el mapa del sector de Tulcán con sus respectivos APs, zona de cobertura esperada y canales de operación; debe ubicarse un SWITCH y un PC que sirva como control del tráfico inalámbrico antes de ser inyectado a la red cableada.

*Figura 5.4: Zonas iluminadas en el Sector de Tulcán*



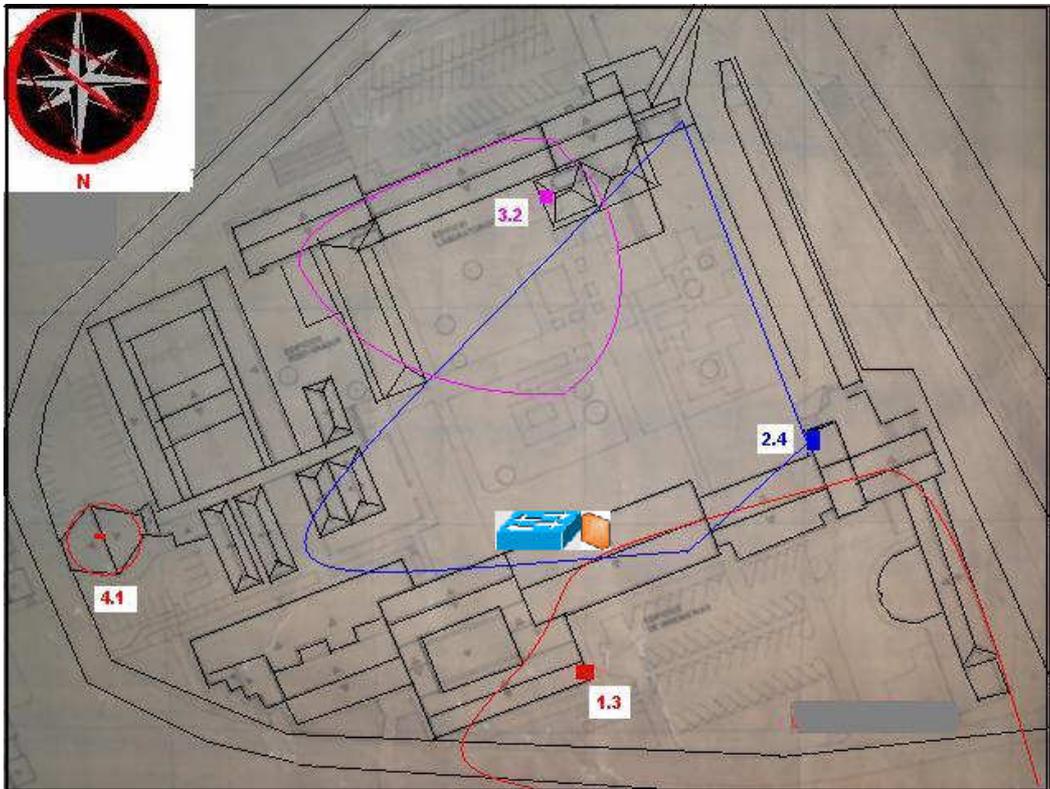
- Sector Ingenierías y Física

**Tabla 5.8:** Distribución de dispositivos en el Sector Ingenierías y Física

DISPOSITIVO	UBICACIÓN	CANTIDAD	ZONA ILUMINADA
AP <sub>1.3</sub>	Esquina NO sala profesores ing. civil 3piso.	1	Cafetería, Parqueadero Electrónica, salones civil ala Norte. Parte W de electrónica.
AP <sub>2.4</sub>	“Palomera del edificio de Electrónica”	1	Parque electrónica y sus salones conexos.
Antena 120°	“Palomera”	1	Auditorio parte interna.
AP <sub>4.1</sub>	Auditorio del IPET.	1	Parte NW en parte media edificio.
AP <sub>3.2</sub>	Edificio de Física	1	Parte NW en parte media edificio

En el salón 319, se ubicara el SWITCH y el PC que concentrara y controlara el tráfico inalámbrico de las facultades de Ingeniería Electrónica Ingeniería física y el IPET.

**Figura 5.5:** Zonas iluminadas en el Sector de Ingenierías y Física



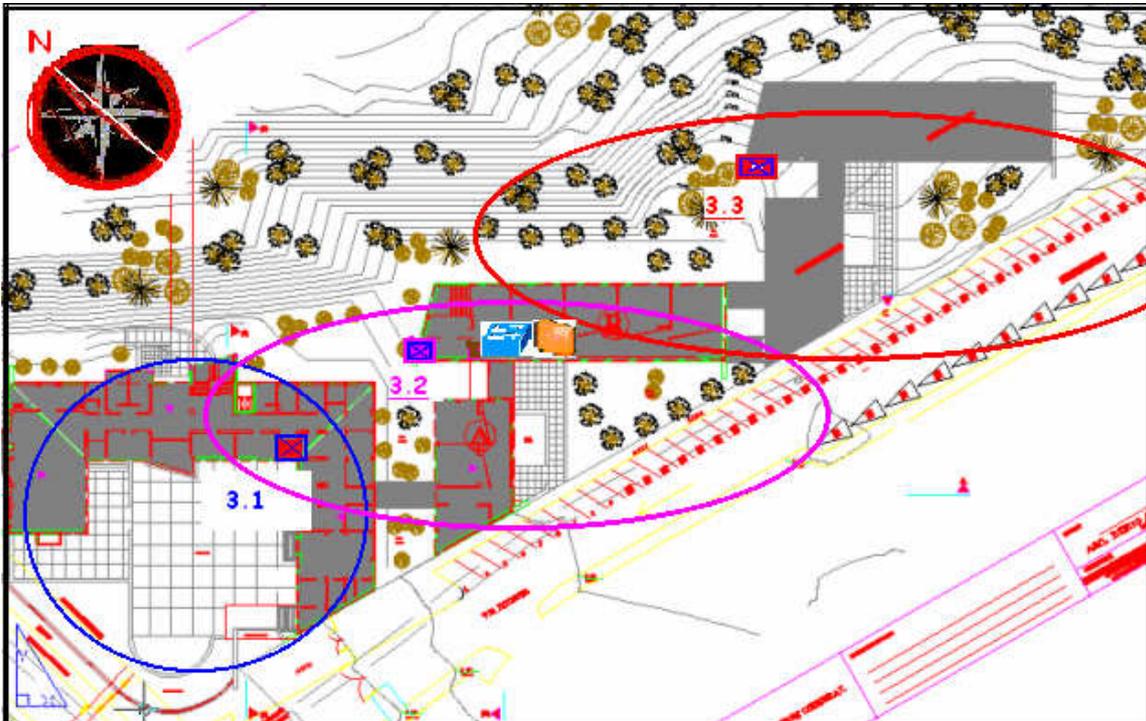
- **Sector nuevo edificio Facultad de Ciencias Contables**

A pesar de que el edificio nuevo de la Facultad de Ciencias Contables aun no se ha concluido y por lo tanto la distribución de sus respectivas salas de operaciones aun no están definidas, se plantea una posible distribución de APs, zona de cobertura esperada y canales de operación, como lo muestra la *Figura 5,6*; debe ubicarse un SWITCH y un PC que sirva como control del tráfico inalámbrico antes de ser inyectado a la red cableada

**Tabla 5.9:** Total de dispositivos en el Sector edificio nuevo Facultad de Ciencias Contables

DISPOSITIVO	UBICACIÓN	CANTIDAD	ZONA ILUMINADA
AP <sub>3.1</sub>	Alero Bloque 1	1	Patio 1 y salones adyacentes.
AP <sub>3.2</sub>	Alero Bloque 2	1	Patio 2 y salones adyacentes.
AP <sub>3.3</sub>	Alero Bloque 3	1	Patio 3 y salones adyacentes.

**Figura 5.6:** Zonas iluminadas en el Sector del nuevo edificio Ciencias Contables

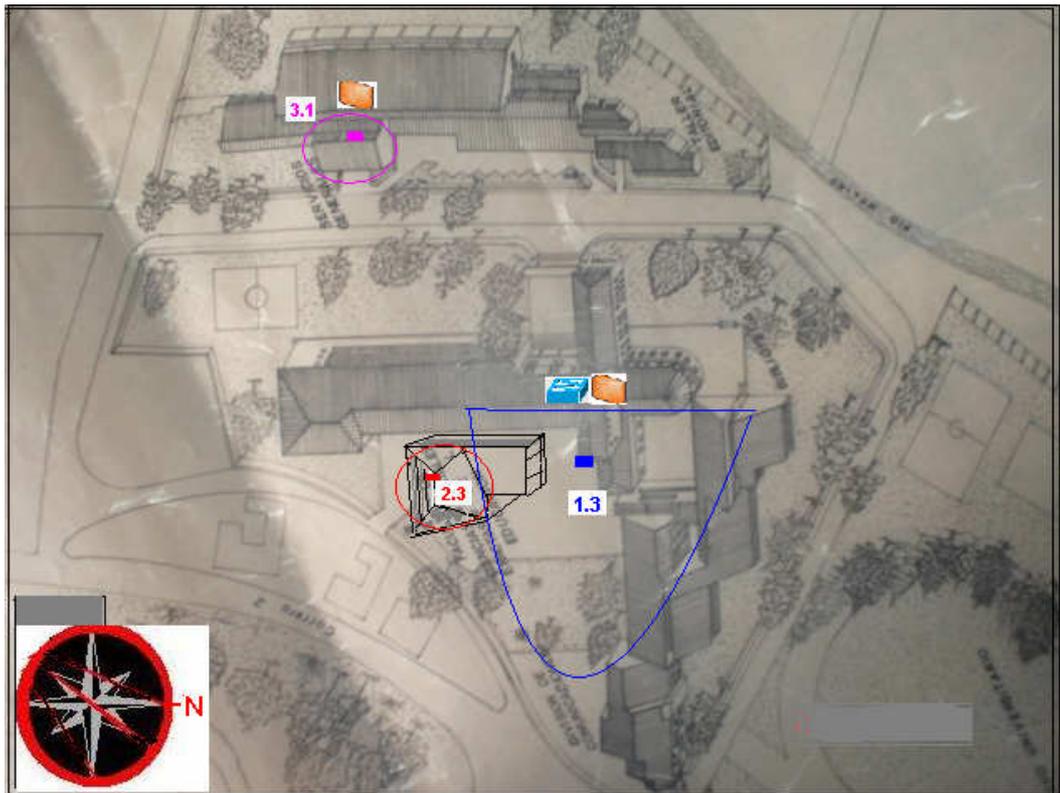


- Sector de educación

Tabla 5. 10: Distribución de dispositivos en el Sector de Educación

DISPOSITIVO	UBICACIÓN	CANTIDAD	ZONA ILUMINADA
AP <sub>1.3</sub>	Frente auditorio biología	1	Patio frente a biblioteca, matemáticas, sistemas (50%) emisora (50%), salones de matemáticas, 1 y 2 piso de educación parte oriental.
AP <sub>2.3</sub>	Auditorio de matemáticas.	1	
AP <sub>3.1</sub>	Edificios de recursos	1	Parte interior de edificio de recursos.

Figura 5. 7: Zonas iluminadas en el Sector de Educación



En la secretaria de decanatura, se ubicaran el SWITCH y el PC que concentrara y controlara el trafico inalámbrico de la facultad de de Educación. Para el edificio de recursos solo se usara un PC como control de tráfico, dado el tamaño de cobertura que se puede permitir allí con la presente propuesta.

Los dispositivos totales necesarios en el Sector de Tulcán, Ingenierías y Educación, se resumen en la *Tabla 5. 11*

**Tabla 5. 11:** Total de dispositivos Sector de Tulcán, Ingenierías y Educación

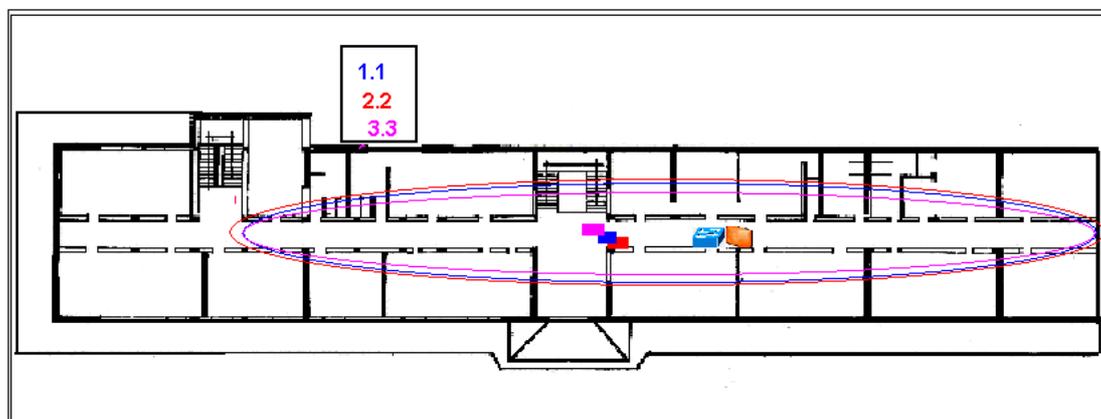
CANTIDAD	DISPOSITIVOS
11	AP
17	Puntos de la Red
11	PoE
6	PC
4	Switch
2	Antena 120°
2	Pigtail
1	Repetidor

- Zona céntrica de la ciudad
  - Museo natural

**Tabla 5. 12:** Total de dispositivos en el Museo Natural

DISPOSITIVO	UBICACIÓN	CANTIDAD	ZONA ILUMINADA
AP <sub>1.1</sub>	Mitad del pasillo piso1	1	Pasillos y salas adjuntas a los pisos 1,2 y 3
AP <sub>2.2</sub>	Mitad del pasillo piso2	1	
AP <sub>3.3</sub>	Mitad del pasillo piso3	1	

**Figura 5. 8:** Zonas iluminadas en el Museo Natural





- Santo Domingo

Tabla 5.14: Total de dispositivos en Santo Domingo

DISPOSITIVO	UBICACIÓN	CANTIDAD	ZONA ILUMINADA
AP <sub>1.2</sub>	Patio 1 esquina NW 2 piso	1	Patio, pasillos y salones anexos
AP <sub>1.1</sub>	Patio 2 esquina SO 2 piso	1	Rectoría, oficina de prensa, jurídica, acreditación, división de personal, control interno, secretaria general, consejo superior.

Figura 5. 10: Zonas iluminadas en Santo Domingo



En la Figura 5. 10, se muestra el Edificio Santo Domingo con sus respectivos AP, zona de cobertura esperada y canales de operación; debe ubicarse un SWITCH y un PC que sirva como control del tráfico inalámbrico antes de ser inyectado a la red cableada.



Los dispositivos totales necesarios en la zona céntrica de la ciudad, es decir lo concerniente al sector del Museo Natural, El Carmen, Santo Domingo y Vicerrectora de Cultura, se resumen en la *Tabla 5. 17*

**Tabla 5. 17:** Total de dispositivos en la Zona céntrica de la ciudad

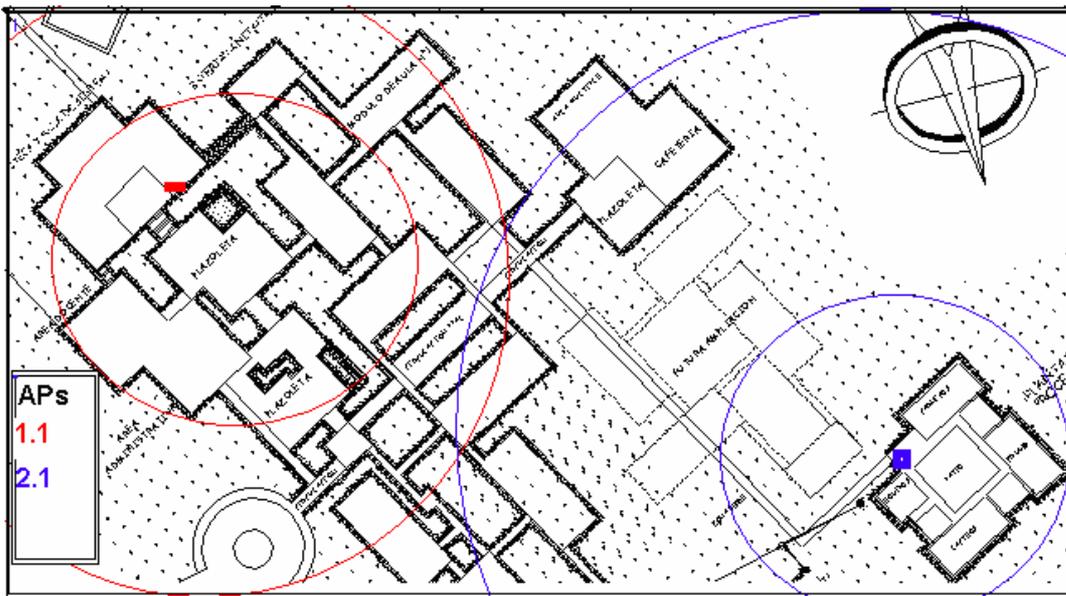
CANTIDAD	DISPOSITIVOS
9	AP
13	Puntos de la Red
9	PoE
5	PC
4	Switch

- **Sector de Las Guacas**

**Tabla 5.18:** Total de dispositivos en el Sector de Las Guacas

DISPOSITIVO	UBICACIÓN	CANTIDAD	ZONA ILUMINADA
AP <sub>1.1</sub>	Sala de sistemas (Alero)	1	Sala sistemas, patio, decanatura, sala de profesores, salones clases
AP <sub>2.1</sub>	Área de proceso y aplicac	1	Salones N.W. área de proceso y aplicaciones

**Figura 5. 12:** Zonas iluminadas en el sector de Las Guacas



La *Figura 5. 12*, muestra el Sector de Las Guacas con sus respectivos AP, zona de cobertura esperada y canales de operación; Para cada AP se corresponderá un PC que sirva como control del tráfico inalámbrico antes de ser inyectado a la red cableada.

Los dispositivos totales necesarios en el sector de Las Guacas, se resumen en la *Tabla 5. 19*.

**Tabla 5. 19:** Total de dispositivos en el Sector de las Guacas

CANTIDAD	DISPOSITIVOS
2	AP
2	Puntos de la Red
2	PoE
2	PC

Los dispositivos totales necesarios para la implementación de la Propuesta No 1, se resumen en la *Tabla 5. 20*

**Tabla 5. 20:** Total de dispositivos para la Propuesta No 1

CANTIDAD	DISPOSITIVOS
29	AP
39	Puntos de la Red
29	PoE
14	PC
9	Switch
2	Pigtail
2	Antenas
1	Repetidores

### 5.2.3. Propuesta No 2

➤ **Nombre**

Celdas no confinadas solo a los sectores internos de la universidad del cauca.

➤ **Objetivo**

Dar un pleno handover a los usuarios mientras se mueven entre instalaciones que pertenezcan a la Universidad del Cauca, independiente de su ubicación geográfica de

las mismas. Las instalaciones a que se hace referencia son del sector Tulcán, Ingenierías, Educación y el sector Centro, aprovechando su cercanía entre si.

➤ **Descripción**

Para poder cumplir con este objetivo, el tipo de diseño tendrá como característica principal la iluminación de las edificaciones tanto en su sector privado como en la parte exterior a sus instalaciones. Permitiendo así *La no existencia de celdas aisladas*, este traslape de células iluminadas garantizara a los usuarios un movimiento pleno cuando se desplace directamente entre las instalaciones pertenecientes a la Universidad del Cauca.

Para cumplir con este objetivo debe emplazarse dispositivos tanto dentro como fuera de las instalaciones de la Universidad del Cauca. Estos últimos servirán de puente para el handover entre las celdas que iluminan sectores privados de cada facultad y deberán cumplir con las mismas características de transmisión y recepción de datos inherentes a cada tecnología.

Como caso especial, La facultad de Ciencias Agropecuarias debe tolerarse una zona oscura entre celdas dado que su posición y distancia impide cumplir en su totalidad con este propósito.

➤ **Especificación de la cobertura**

Como se había aclarado de anteriormente, la presente propuesta es una extensión de la propuesta planteada en la sección anterior, en busca de cumplir el objetivo de plena movilidad entre y dentro de las facultades. Con base en ello se ha determinado la siguiente adición de NAs externos tanto sobre los edificios de la universidad del cauca como en edificaciones particulares. La descripción detallada esta consignada en los siguientes apartados:

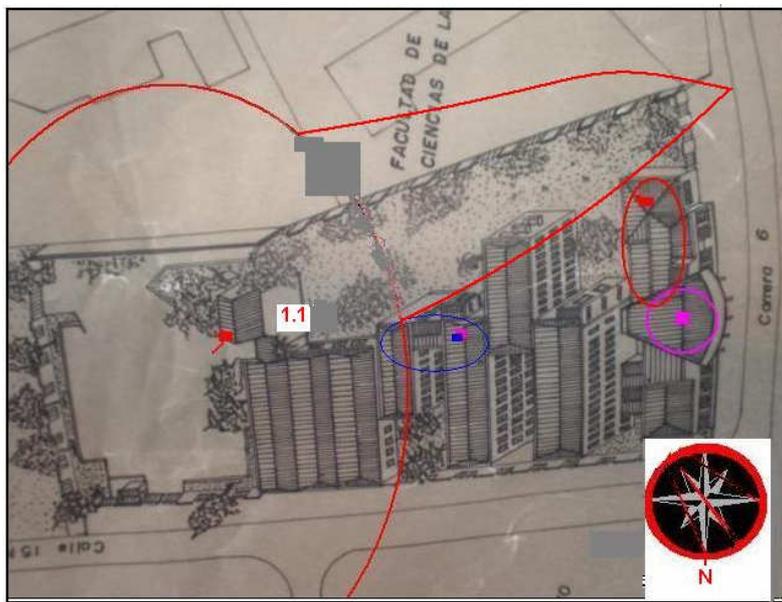
- **Facultad de Ciencias de la Salud**

**Tabla 5. 21:** Total de dispositivos adicionales en La Facultad de Ciencias de la Salud

DISPOSITIVO	UBICACIÓN	CANTIDAD	ZONA ILUMINADA
*ANTENA	Auditorio José Illera Restrepo	1	Parqueadero Calle 15 N hasta puente

El AP<sub>1.1</sub> que en la primera opción se encontraba radiando dentro del auditorio José Illera Restrepo, ahora se le adiciona una antena omnidireccional para obtener una cobertura dentro del recinto, como en la parte exterior del mismo, aproximadamente como lo muestra la *Figura 5. 13*.

**Figura 5. 13:** Zonas iluminadas para la Facultad de Ciencias de la Salud



- **Sector de Tulcán, Ingenierías, nuevo edificio Facultad de Ciencias contables y Educación**
  - **Sector Tulcán**

**Tabla 5. 22:** Total de dispositivos adicionales en el Sector de Tulcán

DISPOSITIVO	UBICACIÓN	CANTIDAD	ZONA ILUMINADA
* ANTENA	Sobre salón K/do	1	Piscina, desde semáforo hasta el puente sobre calle 2N, punto a punto al coliseo Tulcán
**ANTENA	Sobre coliseo Tulcán	1	Calle frente a la biblioteca que viene del centro, coliseo y cancha de básquet

\*En la primera opción teníamos una antena de 120 grados, en la presente propuesta será remplazada por una omnidireccional para dar cobertura tanto interna como externamente.  
 \*\*Al repetidor **R.** se le colocara una antena omnidireccional para lograr iluminar parte de la calle 3ª frente a la biblioteca de la facultad de educación.

- **Sector de Educación**

**Tabla 5. 23:** Total de dispositivos adicionales en el Sector de Educación

DISPOSITIVO	UBICACIÓN	CANTIDAD	ZONA ILUMINADA
AP <sub>A.2</sub>	2 piso educación sobre Cra. 3 en del salón 203.	1	Desde curva biblioteca (NW) hasta esquina edificio educación. Salida occidental educación parqueadero y edificio recursos
Antena	2 piso educación sobre Cra. 3	1	
AP <sub>A.1</sub>	Techo de almacén de radiocomunicaciones	1	Calle 9 viene de biblioteca hasta semáforos; puente, parte sur física; salida física hacia el morro calle cancha Tulcán
Antena	Techo R/comunicaciones	1	Parte S.O de Tulcán, puente y salida del edificio de Física.
AP <sub>A.3</sub>	Esquina sur de educación.		Desde calle 2 hasta educación, sobre Cra 3.
Ant 60 <sup>a</sup>	Esquina sur de educación.		
AP <sub>2.2</sub>	Audit de matemáticas S.O	1	
Antena 180°	Audit de matemáticas S.O	1	Calle oriental de educación hasta curva del morro. Auditorio y parte S.O de educación

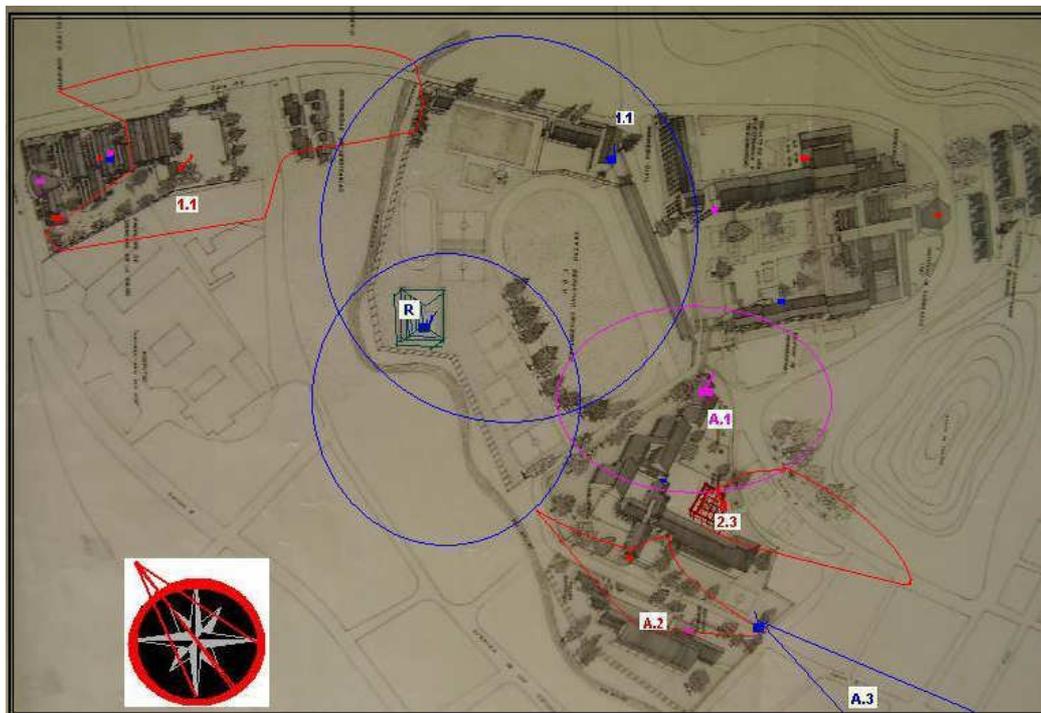
Cuando solo se dice “antena” se debe asumir que se hace referencia a una antena omnidireccional y para antenas sectorizadas se especificara su cantidad en grados de cobertura a usar.

Las antenas escritas con MAYÚSCULA indican que serán conectadas a los APs de la primera opción.

**Figura 5. 14:** Zonas iluminadas para el Sector de Educación



**Figura 5. 15:** Zonas iluminadas para el Sector Tulcán, Ingenierías y Educación



- **Zona céntrica de la ciudad**

- **Museo natural**

**Tabla 5. 24:** Total de dispositivos adicionales en Museo Natural

DISPOSITIVO	UBICACIÓN	CANTIDAD	ZONA ILUMINADA
AP <sub>A.8</sub>	Sobre techo occidental	1	Desde curva del morro hasta un poco mas de la calle 2, sobre la Cra 1.
ANTENA 120°			

**Figura 5. 16:** Zonas iluminadas para el Museo Natural



- **El Carmen**

**Tabla 5. 25:** Total de dispositivos adicionales en el Sector de El Carmen

DISPOSITIVO	UBICACIÓN	CANTIDAD	ZONA ILUMINADA
AP <sub>A.5.</sub>	Calle 4 con carrera 4	1	Cra 3 a Cra 5 sobre la calle 4°; Edificio de caja Previsión del C. parte sw del Carmen
Antena 180° <sup>a</sup>	Calle 3 con carrera 4	1	
AP <sub>A.5</sub> *antena 60° <sup>a</sup>			Cra. 2 a Cra 3 sobre la calle 4°; Calle 3 a calle 5 sobre la Cra 3

- **Facultad De Artes**

**Tabla 5. 26:** Total de dispositivos adicionales en la Facultad de Artes

DISPOSITIVO	UBICACIÓN	CANTIDAD	ZONA ILUMINADA
AP <sub>A.5.</sub>	Calle 3 con Cra 6	1	
Ant 120°	Calle 3 con Cra 6	1	Cra 6 a cra 4 sobre calle 3 Calle 4 a calle 3 sobre cra 6

• **Edificios Particulares**

**Tabla 5. 27:** Total de dispositivos adicionales en los edificios particulares

DISPOSITIVO	UBICACIÓN	CANTIDAD	ZONA ILUMINADA
AP <sub>A.4.</sub>	Palacio Nacional (3 piso)	1	Cra 4 a cra 2 sobre calle 3 calle 1 a calle 3 sobre cra 3
Antena 90°	Techo: calle 3 cra 3	1	
*AP <sub>R.</sub>	Iglesia Ermita	1	La Cra 2 entre calle 5 hasta calle 3
Antena 30°	Sobre pared norte	1	
*AP <sub>R.</sub>	Alcaldía esquina	1	Desde calle 3 a calles sobre cra 6 Cra 5 a cra 7 sobre calle 4

\*AP repetidor.

La suma total de dispositivos adicionales tanto sobre los edificios de la Universidad del Cauca como en edificios particulares, se resumen en la *Tabla 5. 28*

**Tabla 5. 28:** Total de dispositivos adicionales para la Propuesta 2

CANTIDAD	DISPOSITIVOS
9	AP
10	Puntos de la Red
8	PoE
12	Pigtail
12	Antenas
2	Repetidores

**Figura 5. 17:** Zonas iluminadas a través de los edificios particulares



La suma total de dispositivos que se necesitan para la implementación de la Propuesta No 2, se resumen en la *Tabla 5. 29*

**Tabla 5. 29:** Total de dispositivos para la Propuesta No 2

CANTIDAD	DISPOSITIVOS
38	AP
48	Puntos de la Red
37	PoE
14	PC
8	Switch
14	Pigtail
14	Antenas
3	Repetidores

### **5.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS PROPUESTAS PLANTEADAS**

Para poder fundamentar que propuesta es la más conveniente para la R.D.U.C. a continuación se confrontan las diferentes ventajas y desventajas que cada una de ellas.

#### **5.3.1. Ventajas de la propuesta No 1**

##### **➤ Para los usuarios**

Existe una baja probabilidad que personas extrañas se adhieran a la red lo que incrementa la posibilidad de poseer un mayor ancho de banda con respecto a la primera propuesta.

##### **➤ Tecnológicas**

- El aspecto de seguridad es mucho más fácil de manejar dado que las celdas estarán confinadas solo dentro de las instalaciones de la Universidad del Cauca.
- No se hace necesario el pago de arrendamiento por infraestructura física en el momento de instalar los dispositivos que hagan posible tal propuesta.
- El acceso por parte de los usuarios cuando se encuentran dentro de las zonas iluminadas puede manejarse con mayor calidad, ya que cada dispositivo de acceso se ajusta con respecto a las condiciones particulares de cada entorno que se pretende iluminar.

#### **5.3.2. Desventajas de la propuesta No 1**

##### **➤ Para los usuarios**

- Estarían limitados a zonas especiales y aisladas entre facultades, lo que provocaría la interrupción de sesiones en el momento que decidan transportarse de un sitio a otro dentro de la red de datos de la Universidad del Cauca.
- Se limitaría a los interesados en esta área experimentar en forma directa las ventajas del protocolo IPv6 en su característica de movilidad interdominio.

#### **5.3.3. Ventajas de la propuesta No 2**

##### **➤ Para los usuarios**

- Un handover altamente garantizado mediante el uso del protocolo IPv6 en su característica de movilidad y mientras el usuario se mueve dentro de la zona iluminada.

- Acceso a la red de datos de la Universidad del Cauca. fuera de las instalaciones de la Universidad permite mayor eficiencia en el manejo y uso de la información para sus diferentes aplicaciones.
- Posibilidad de brindar nuevos servicios a sus usuarios como VoIP lo que coloca a la Universidad del cauca como pionera de estos servicios a nivel local.

➤ **Tecnológicas**

- Puesta en marcha en forma verdadera de la tecnología IPv6 en su aspecto móvil permitiendo no solo estar en la vanguardia de las tendencias tecnológicas de nuestro medio sino ir mas allá al manejar un protocolo de red que promete grandes expectativas a nivel mundial.
- Ser la U.C. una de las pioneras a nivel colombiano del estudio y puesta en práctica de esta nueva forma de comunicación hace que su prestigio no solo se mantenga sino que sea vista como una institución que se adelanta a las nuevas evoluciones de la tecnología.

**5.3.4. Desventajas de la propuesta No 2**

➤ **Tecnológicas**

- Adhesión de posibles usuarios que no pertenecen a la red de datos de la universidad del cauca.
- Decremento del ancho de banda debido al aspecto anterior.
- Pago de arrendamiento de infraestructura a terceros si la implementación se realiza con bandas de frecuencia no licenciada.
- Pago de BW si la implementación se realizase por medio de proveedor de servicios móviles.
- En este último caso de entrada el BW estaría muy por debajo con respecto al que se realice con tecnologías que utilicen bandas de frecuencia no licenciadas, y adicional a esto, el costo por este BW sería a un precio muy alto.

#### 5.4. JUSTIFICACION DE LA PROPUESTA DE DISEÑO

Para la sugerencia de una de las propuestas se ha tomado como base:

➤ **Ventajas y desventajas de cada una de las propuestas**

Al realizar el balance en este aspecto la segunda propuesta brinda mayor beneficio a los usuarios, mayor prestigio a la universidad y permite una mejor motivación para profundizar en el tema. El tema crítico de la seguridad debe tomarse no como un obstáculo para no realizar su implementación si no como una oportunidad para generar nuevas propuestas y desarrollos en este ámbito, más aun cuando empresas como Flycom e Intel están lanzando proyectos de “Internet inalámbrico” para estudiantes en áreas abiertas, dado el potencial que esto representa para el desarrollo educativo.

➤ **Costos de implementación**

La segunda propuesta presenta un margen no muy lejano con respecto a la primera opción, acentuando que la diferencia una de otra se centra más en la cobertura dada que en los mecanismos y costos que en si, esto nos inclina a sugerir que si obtendremos mejores beneficios para los usuarios y la universidad como tal con un porcentaje mínimo de incremento de inversión vale la pena realizar el esfuerzo.

➤ **Usabilidad**

Es de preverse que habrá más motivación de uso, si un usuario puede desplazarse de una dependencia a otra sin perder conectividad frente a tener que estar confinado a un solo sector; la segunda opción gestara el inicio de una nueva forma de comportamiento que hoy ya se impone en países desarrollados.

➤ **Posicionamiento**

No es lo mismo que a nivel nacional se reconozca a la Universidad del Cauca como prestadora de servicios de Internet inalámbrico solo a nivel intradominio, frente al reconocimiento que este sea a nivel interdominio, esto abrirá puertas para crear una línea de investigación donde sus resultados afectaran positivamente a toda la comunidad universitaria.

➤ **Interacción**

El auge del mundo inalámbrico y la movilidad terminara por inundar nuestro medio, cuando instituciones como el SENA, Policía, entre otras converjan en la implementación y uso de los beneficios de la conectividad inalámbrica se creara una sinergia de intercambio de información que potenciará a quienes participen directamente con este fenómeno y rezagara a quienes estén por fuera de los nuevos sistemas, es por ello oportuno prepararnos para los nuevos paradigmas de la información.

## CONCLUSIONES

- La movilidad ha generado un fenómeno positivo dentro del mundo de las telecomunicaciones, donde cada vez que se hace posible la prestación de un servicio en dispositivos móviles, genera no solo dividendos para los diferentes esferas del negocio, si no que motiva a que nuevos expertos en la materia ahonden esfuerzos en pro de crear nuevas propuestas en esta área, y bajo la condición de que las empresas creadoras de nuevos productos deben competir directamente en el campo de la calidad con otras empresas que se mueven en el mercado de los servicios móviles.
- La evolución del protocolo Internet, juega un papel muy importante no solo dentro del protocolo como tal sino del efecto que causara en el mundo de las telecomunicaciones; sus resultados se denotaran cuando los sectores académicos, empresariales, y de industria adopten plenamente y en forma conjunta el IPv6.
- La clara visión de lo anterior, proporcionó la generación de alternativas de solución; el análisis de las implicaciones y la evaluación de estas alternativas, así como la selección de la solución que mejor se adapte a los objetivos planteados, ha permitido y obligado a vincular aspectos tecnológicos y económicos, además del marco social en el cual está inserto el problema, lo que a su vez ha hecho que se elabore un punto de vista sobre que esta pasando en el mundo tecnológico y que esta haciendo la Universidad del Cauca para asimilar correctamente este fenómeno en nuestro medio y más puntualmente en la UNIVERSIDAD DEL CAUCA.
- Concretamente en el campo de la ingeniería y lo tecnológico, el análisis y la verificación de la solución propuesta por medio de la consecución y manejo de planos y la definición de los dispositivos HW y SW a utilizar, se puede afirmar que se ha concluido con la fase de creación y diseño donde se ha materializado la idea cumpliendo a satisfacción con exigencias practicas de la zona y población objetivo.
- Dentro del campo económico se puede afirmar que la implementación de la propuesta tiene una adecuada relación costo beneficio más aun si en algunas de las diferentes facultades pueden reutilizarse recursos que hoy pueden estar subutilizados, el no permitirse implementar la presente propuesta o posponerla para plazos mayores puede incurrirse en el riesgo de estancarse tecnológicamente y suprimir a los usuarios de la R.D.U.C de algunos beneficios referentes al mundo de las telecomunicaciones inalámbricas.

## RECOMENDACIONES

- Bajo esta panorámica se hace importante abordar en forma integral el tema de movilidad dentro de nuestra región, no solo en forma tecnológica si no social política y económica, esto permite que cuando el nuevo paradigma toque nuestro medio no solo estemos preparados para generar nuevas propuestas de solución si no que aprovechemos los recursos humanos y tecnológicos que en ese momento poseamos.
- Dentro de la facultad se debe buscar que las nuevas tecnologías sean tangibles para los estudiantes, por medio de el uso de dispositivos afines a la movilidad o por demos, así cuando se enfrenten al mercado laboral posean un adecuado nivel de practica en los elementos que hacen posible la prestación de servicios móviles.
- Mantener la iniciativa de la adopción del IPv6 y fomentar el manejo del dentro de la Universidad del Cauca cubriendo los diferentes frentes: técnicos, investigativos, generación de nuevos proyectos etc. para que se cree una plataforma de conocimiento y manejo del protocolo para sobre ella obtener al final una red que a adopte plenamente y en forma transparente el nuevo IP.
- Profundizar y mantener actualizado el estado del arte del IPv6 y en particular el dado que al proveer de ventajas al sector de las telecomunicaciones siempre va a estar en constante evolución y transformación buscando como es natural ser más eficiente dentro de sus objetivos planteados.
- Para proyectos de desarrollo tecnológico futuro en el área de las telecomunicaciones y telemática, debe tenerse muy en cuenta dentro de de sus etapas que conduzcan a la solución del problema planteado, el aspecto y la relación que pueda tener con el nuevo protocolo de Internet, independiente que se este trabajando con la versión 4; la estrategia es dejar abierta la posibilidades para que en el futuro tales proyectos puedan ser funcionales con el IPv6, esté aspecto debe enfatizarse aun más si los mismos tienen un corte temático de movilidad, ya que la tendencia como ya se ha explicado ampliamente en los capítulos es un core totalmente IP en su nueva versión.
- Para trabajos de grado futuros se recomienda la temática de seguridad en los diferentes niveles de red, ya que este aspecto es el de mayor debilidad dentro de las redes móviles, debido a la accesibilidad al medio inalámbrico. Además por su complejidad y extensión amerita trabajos completos alrededor de dicho tópico. Este documento presenta sólo terminología y características muy generales de seguridad.
- Sugerir que la valoración crítica de la solución y su análisis de comportamiento en el contexto de la R.D.U.C. en forma real, debe ser examinado en relación con las proyecciones que se plantean a partir de la propuesta que hasta el momento queda elaborada, básicamente es en la implementación de la misma cuando se adentra en la denominada fase de ejecución y es allí donde en se puede cerrar el ciclo de vida del presente proyecto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Sitio web de la UIT sobre IMT-2000: <http://www.itu.int/imt>
2. Sitio web del foro 3GPP: <http://www.3gpp.org>
3. Sitio web del foro 3GPP2: <http://www.3gpp2.org>
4. Sitio web del foro UWCC: <http://www.uwcc.org>
5. D. Johnson, C. Perkins, J. Arkko, "Mobility Support in IPv6", [RFC3775], Junio 2004.[Documento en línea] URL: <http://www.ietf.org>
6. T. Narten, E. Nordmark, W. Simpson, "Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6)", [RFC2461], Diciembre 1998.[Documento en línea] URL: <http://www.ietf.org>.
7. S. Thomson, T. Narten, "Ipv6 Stateless Address Autoconfiguration", [RFC2462], Diciembre 1998.[Documento en línea] URL: <http://www.ietf.org>.
8. Hesham Soliman, Claude Catelluccia, Karim El Malki, Ludovic Bellier, "Hierarchical Mobile Ipv6 mobility management (HMIPv6)", Junio 2004. [Documento en línea] [draft-ietf-mipshop-hmipv6-02.txt](#)
9. Rajeev Koodli, "Fast Handovers for Mobile Ipv6", Junio 2004.[Documento en línea] [draft-ietf-mipshop-fast-mipv6-01.txt](#).
10. Hee Young Jung, Seok Joo Koh, Hesham Soliman, Karim El Malki, Bryan Hartwell," Fast Handover for Hierarchical (F-HMIPv6)", Junio 2004. [Documento en línea] [draft-jung-mobileip-fastho-hmipv6-04.txt](#).
11. M. Liebsch, G. Renker, R. Schmitz, "Paging Concept for IP based Networks", Septiembre 2001. [Documento en línea] [draft-renker-paging-ipv6-01.txt](#).
12. Políticas de administración de recursos de Internet en el área de Latinoamérica y el Caribe, <http://lacnic.net/sp/ipv6.html>, editado y acondicionado por equipo LACNIC desde la fuente *IPv6Address Allocation and Assignment Global Policy*, APNIC, ARIN, RIPE – NCC, 25 de abril de 2002
13. IPv6 Mobility/wireless ISOC briefing paper. <http://www.isoc.org/briefings/014/index.html>  
IPv6: Necessary for Mobile and Wireless Internet ISOC MEMBER BRIEFING #14