



System integration model for the development of 4G mobile communication networks (original title: Modelo de Integración de Sistemas para el Desarrollo de Redes de Comunicaciones Móviles de 4ta Generación)

I. Armuelles, T. Robles, C. Pinart, F. Bader, H. Chaouchi, M. O'Droma, I. Ganchev, M. Siebert

Publication:	XIV Jornadas Telecom I+D. Madrid (Spain)
Vol.:	-
No.:	-
pp.:	-
Date:	November 23-25, 2004

This publication has been included here just to facilitate downloads to those people asking for personal use copies. This material may be published at copyrighted journals or conference proceedings, so personal use of the download is required. In particular, publications from IEEE have to be downloaded according to the following IEEE note:

©2007 IEEE. Personal use of this material is permitted. However, permission to reprint/republish this material for advertising or promotional purposes or for creating new collective works for resale or redistribution to servers or lists, or to reuse any copyrighted component of this work in other works must be obtained from the IEEE.

Modelo de Integración de Sistemas para el Desarrollo de Redes de Comunicaciones Móviles de 4^{ta} Generación

Ivan Armuelles¹, Tomás Robles¹, Carolina Pinart², Faouzi Bader², Hakima Chaouchi³,
Mairtin O'Droma⁴, Ivan Ganchev⁴, Matthias Siebert⁵

¹Depto. de Ingeniería de Sistemas Telemáticos
Universidad Politécnica de Madrid.
{ivan | robles}@dit.upm.es

²Tecnologías de Acceso
Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya
{carolina.pinart | faouzi.bader}@cttc.es

³Laboratoire Informatique Paris 6
University of Paris VI
Paris, France
hakima.chaouchi@lip6.fr

⁴ECE Departament
University of Limerick
Ireland
{ivan.ganchev,mairtin.odroma}@ul.ie

⁵Communication Networks
Aachen University
Aachen, Germany
mst@comnets.rwth-aachen.de

Resumen

Una de las particularidades que se esperan de los sistemas de comunicaciones móviles de cuarta generación (4G), es la capacidad que tendrá el usuario de elegir el “mejor acceso” en cualquier momento. La creciente implantación de redes de acceso para comunicaciones móviles que se experimenta en la actualidad aumentará esta capacidad de “conectividad” de los usuarios. Las características de la conectividad serán distintas según la tecnología de la red acceso en cuanto a capacidad de transmisión, soporte de movilidad, área de cobertura, QoS, etc. Esta habilidad de estar “conectado siempre de la mejor manera posible” dependerá de innovaciones en el diseño del terminal, los servicios, los sistemas de acceso y, lo más esencial, la integración de todos ellos. En el presente artículo se muestran las propuestas desarrolladas en el proyecto ANWIRE para definir una arquitectura de 4G basada en la integración de distintos sistemas de comunicaciones móviles.

1. Introducción

En la actualidad estamos experimentando un amplio despliegue de redes inalámbricas de tecnologías complementarias. Las tradicionales redes de 2G (GSM) conviven con las recientes redes de 3G (UMTS, CDMA2000), además redes WLAN, redes ad hoc y redes en movimiento están emergiendo en el mercado a ritmo acelerado. Este conjunto de redes inalámbricas heterogéneas, compuestas por amplios sistemas gestionadas por operadoras con requisitos de licencias sobre el radio espectro, redes locales sin requisitos de licencia y redes espontáneas, encuentran su utilidad en aplicaciones totalmente complementarias, que facilitarán la conectividad permanente de los usuarios móviles. Varios proyectos de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+I) han sido desarrollados en el marco de los programas de *Tecnologías de la Sociedad de la Información* (IST) de la Comunidad Europea con el fin de presentar soluciones de integración de estos sistemas en las pasadas convocatorias de investigación sobre “redes de comunicaciones móviles más allá de la 3G” (3G+). Como conclusión, en el ámbito europeo se ha delineado el perfil de las futuras redes de comunicaciones móviles de 4G. En éstas, los usuarios móviles podrán seleccionar libremente la red de acceso dependiendo de factores como los servicios que desea utilizar, su situación económica o el entorno en el que se encuentra localizado [1].

En el proyecto ANWIRE (*Red Académica para la Investigación de la Internet Inalámbrica en Europa*) hemos propuesto un modelo y una arquitectura de integración de sistemas acorde con las características de las redes 4G. En el presente artículo se presenta un análisis sobre el estado del arte de la integración de sistemas de comunicaciones móviles, incluyendo los requisitos que hemos derivado sobre la integración de redes; una propuesta de modelo de referencia genérico para la integración de sistemas y un modelo de negocios para su explotación, y finalmente se plantea una novedosa arquitectura de integración de sistemas basadas en gestión de políticas.

2. Trabajos previos relacionados

En el contexto de los recientes programas de I+D+I de la comunidad europea y grupos de estandarización, varias han sido las propuestas que se han destacado por proponer métodos de integración de sistemas particulares para la oferta de la Internet Móvil, en [2] expusimos éstas propuestas junto a un análisis riguroso. Como ejemplos de las propuestas podemos mencionar al ETSI BRAN, 3GPP, BRAIN, MIND, MOBYDICK, WINE GLASS, SUITED, TRUST, SCOUT, FLOWS y otros. Cada aproximación se enfocó en la combinación de distintas *redes de acceso inalámbrico* (Fig. 1), entre las cuales están las redes GSM, GPRS, UMTS, 802.11, redes satelitales, redes en movimiento, redes ad hoc y de área personal

(PANs), y mecanismos diferentes de integración inter-sistema que hemos clasificado de la siguiente manera:

- *Integración estrecha* o fuerte: las redes de acceso utilizan los mismos mecanismos, sistemas de señalización y AAA que el núcleo (core) de la red,
- *Integración holgada* o leve: las redes sólo intercambian un conjunto específico de señales de control e información comunes.
- *e inexistente*: las redes operan completamente separadas (p. ej., un terminal contiene varios módulos SIM según los contratos suscritos con distintas operadoras).

También podemos definir la integración en términos intra-sistema como el intercambio vertical de información entre las capas de la arquitectura de manera *estrictamente acoplada*, *holgado* o *inexistente*. Los distintos tipos enumerados de integración presentan diferentes niveles de rendimiento, facilitando o complicando el proceso de integración.

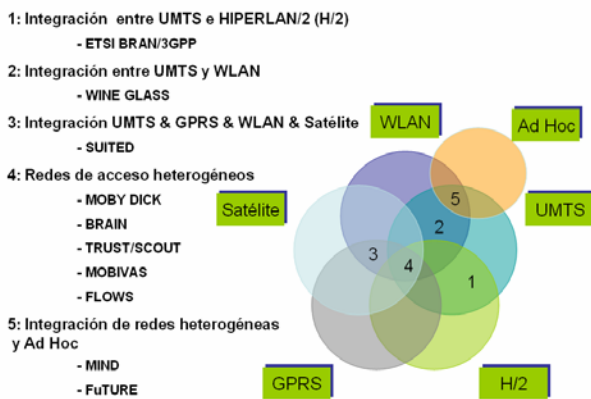


Figura 1: Modelo de Referencia de Integración de Sistemas de Comunicaciones Móviles de 4G.

2.1. Análisis sobre los trabajos relacionados

A. Redes de acceso integrados

De acuerdo con los tipos de redes de acceso integrados en los proyectos revisados, a excepción de SUITED, la mayor parte se concentra en la integración de redes de acceso terrestres 3G y WLANs, mientras que la integración de las redes emergentes ad hoc y PANs empiezan a ser tomadas en cuenta. Las propuestas también abarcan varias soluciones en la integración de las funcionalidades de control y gestión. Como ejemplo, el proceso del traspaso entre distintas tecnologías de radio (traspaso vertical) es gestionado en capas superiores como la capa de red o la de sesión en ETSI BRAN, en BRAIN/MIND y en WINE GLASS. Esta aproximación puede ser considerada como un método de integración leve en contraste con los métodos que gestionan el traspaso vertical en la capa física y de enlace (integración fuerte).

B. Gestión QoS de extremo a extremo

La mayoría de las aproximaciones utilizan una estrategia de integración leve para el soporte de QoS

de extremo a extremo sobre redes heterogéneas a través de la correspondencia (mapping) de los parámetros de QoS, a diferencia de TRUST/SCOUT y MOBY DICK que proponen el uso de un conjunto común de clases de QoS.

C. Manejo del traspaso

Otros aspectos importantes abordados en los proyectos son las estrategias de traspaso entre puntos de acceso de la misma red (*traspaso horizontal*) y la integración de los mecanismos de movilidad y soporte de QoS. El objetivo de la mayoría ha sido el soporte de un *traspaso íntegro*, que reduce tanto la pérdida de los paquetes como el tiempo de desconexión de la terminal. Sólo FuTure provee de *traspaso suave*, que reduce las pérdidas de paquetes independientemente del tiempo de desconexión. Durante el traspaso, el acoplamiento leve entre los métodos de gestión de movilidad y soporte de QoS se logra cuando la señalización intercambiada entre red y terminal es usada para activar los mecanismos de QoS, en la integración estrecha, se utiliza la misma señalización para gestionar la movilidad y el QoS. En cuanto al traspaso del terminal entre puntos de acceso de distinta tecnología de radio (*traspaso vertical*) recientemente se ha adoptado la gestión del “traspaso vertical basado en políticas”. En éste, los nodos móviles ejecutan el traspaso siguiendo otras directrices adicionales a las de las condiciones de radio como pueden ser las preferencias del usuario, el coste de conexión, cualidades de QoS requeridas o al desempeño de la red.

D. Requisitos de AAA

Algunas iniciativas eligen una integración leve de los sistemas de autenticación, autorización y facturación (AAA), usando distintos mecanismos en cada red de acceso permitiendo el intercambio de información de las bases de datos AAA. Sin embargo, ETSI BRAN, WINE GLASS y MOBY DICK se inclinan por el uso de un sistema común de protocolos y bases de datos. Finalmente, el diseño del equipo terminal en cuanto a los niveles inferiores a la capa física y de enlace establece la diferencia entre dos grupos, los proyectos que proponen el uso de terminales multi-modo con una interfaz para cada red de acceso y las propuestas que prefieren el uso de *interfaz de radio re-configurable por Software* que permiten usar la misma interfaz en distintas tecnologías de radio acceso. Entrás éstas últimas se encuentran FuTure, FLOWS, MOBIVAS y SUITED y representan un mayor grado de integración.

E. Adaptabilidad y Re-configurabilidad

Para concluir, algunos proyectos introducen la *adaptabilidad*, como un método para superar los cambios experimentados por los servicios durante la movilidad, mientras que otros apuestan por la *re-configurabilidad*. La adaptabilidad provee la habilidad a los nodos en comunicación de cambiar dinámicamente entre estados predefinidos. Esta técnica es habitualmente implementada en las capas

superiores. Por su parte, la re-configurabilidad, comúnmente usada en las capas inferiores, es la capacidad de un nodo de comunicación de cambiar de un estado a otro nuevo no predefinido.

2.2. Requisitos de Integración de Sistemas

Del análisis realizado hemos concluido que para lograr un sistema integrado toda arquitectura debe satisfacer requisitos relacionados con la *red*, la *terminal*, el *usuario* y los *servicios* [3]. Desde el punto de vista de la red de acceso, el nivel de integración depende de las capas involucradas en el proceso, p. ej., un nivel de *integración estrecho* se logra cuando intervienen las capas inferiores (Física y de Enlace), mientras que una *integración holgada* se experimenta cuando se emplean las capas de red y superiores para tal efecto. El nivel de integración deseado (holgado o estrecho) impone diferentes retos en lo que respecta a la unificación de las siguientes funcionalidades generales:

- *Gestión de los Sistemas Unificados de Movilidad y Seguridad*: para garantizar la continuidad del servicio y del servicio de movilidad. Esta funcionalidad requiere de la interacción de las entidades correspondientes a las diferentes redes interconectadas.
- *Negociación y Soporte de QoS de Extremo a Extremo*: para ésta se requieren mecanismos de interconexiones disponibles en la capa de Red o superiores.
- *Autenticación, Autorización y Contabilidad (AAA)*: por lo general, las distintas redes de acceso usan un mecanismo de AAA particular, uno de los principales retos será lograr la integración de dichos mecanismos mediante el intercambio de la información apropiada. En ANWIRE sugerimos la intervención de un *proveedor de servicios AAA independiente* para evitar que cada red de acceso tenga una asociación segura con el resto de las redes de acceso. Utilizando un proveedor de servicios AAA independiente, como se expone más adelante, el número de asociaciones seguras necesarias se reduce considerablemente.

Considerando el proceso de integración a nivel de la capa de red, los siguientes temas requieren un estudio cuidadoso:

- *Gestión de Movilidad*: esta funcionalidad necesita proveer un *traspaso vertical integro* entre redes de acceso. El traspaso vertical puede ser activado por el usuario, en ese caso el traspaso se observa como la desconexión en una red de acceso y la reconexión desde otra desde el punto de vista de la red. Si el traspaso es iniciado/controlado por las redes de acceso, esta funcionalidad puede llegar a ser muy complicada, requiriéndose entonces un sistema de señalización inter-dominio estandarizado.
- *Encaminamiento*: la redes fijas, móviles y ad hoc

poseen distintas necesidades y ofrecen retos de distinta dificultad por lo que una solución común de encaminamiento inter-domino es difícil de lograr, pero necesaria.

Desde le punto de vista del *terminal*, el proceso de integración de redes debe considerar los siguientes requisitos:

- *Soporte de Múltiples Modos de Conexión*: la conectividad a diferentes tipos de redes de acceso debe ser posible desde una única terminal.
- *Adaptabilidad y Re-configurabilidad*: la modificación expedita de la lógica de las distintas capas de la arquitectura del terminal debe ser posible para facilitar la reacción apropiada ante violaciones a la QoS concertada para las sesiones activas.
- *Descubrimiento de Redes de Acceso y Asociación*: esta funcionalidad es indispensable en un entorno heterogéneo de redes inalámbricas. La difusión periódica de servicios de conexión realizada por los puntos de acceso de las redes móviles actuales puede ser poco eficiente en este escenario. En ANWIRE proponemos el uso de *canales para anuncio inalámbrico (wireless billboard channels)* a través de los cuales el terminal puede detectar, seleccionar y registrarse a las distintas redes de acceso disponibles independientemente de su tecnología de radio.

La integración de sistemas y servicios desde el punto de vista del *usuario* deberá cubrir los siguientes aspectos:

- *Gestión de Perfil de Usuarios*: el usuario puede tener distintas preferencias dependiendo del tipo que de actividad que esté realizando o el contexto al que esté sometido (trabajo, ocio, urgencias, etc.). Estas preferencias, registradas bajo perfiles, deberán ser confrontadas con las redes de acceso anunciadas para facilitar el proceso de selección de conexión.
- *Identificación Única*: es conveniente que el usuario sea asociado a un único identificador independientemente del terminal que este utilizando, la red de acceso seleccionada o la red de acceso a la que está suscrito.
- *Simplificación del Modelo de Negocios*: desde el punto de vista del usuario, sería ideal tener una única relación de negocios a modo de suscripción para poder acceder a todo tipo de servicios y que simultáneamente provea de independencia y libertad en la búsqueda del mejor valor para su inversión.

Desde la perspectiva de los *servicios*, los siguientes son requisitos indispensables:

- *Creación rápida y flexible de servicios y aplicaciones*: mediante interfaces de programación de aplicación estandarizados.
- *Despliegue y Aprovechamiento de los Servicios sobre distintas Redes de Acceso*: parte de estos requisitos se pueden solventar mediante técnicas de re-configurabilidad del terminal y los

elementos de la red.

- *Anuncio, Descubrimiento y Suscripción a los Servicios*: mediante la técnica de canales de canales para anuncio inalámbrico (WBC).
- *Continuidad de los Servicios*: ante los eventos de traspaso entre puntos de acceso a la red, entre redes y entre terminales de acceso (movilidad de usuario).
- *Adaptabilidad de los Servicios*: como recurso para sobreponerse a las limitaciones de la red y el terminal.

Un requisito común que debe ser cubierto desde el punto de vista de las entidades consideradas son la *Seguridad* y la *Privacidad*.

3. Modelo de referencia de arquitectura de sistema integrado

En la Fig. 2 se muestra una nueva propuesta de modelo de referencia para un sistema de comunicaciones móviles de 4G. El modelo de referencia comprende tres planos: de *usuario*, de *control* y *gestión*, además de un *central basado en estrategias de interacción inter-capas* (cross-layer) que sirve de intersección entre los tres planos anteriores y cuyo fin es el soporte de la *re-configurabilidad, adaptabilidad de servicios, soporte de QoS y perfiles de usuario y red*. Los nombres de los niveles según el modelo OSI se han mantenido integrando el nivel de sesión y representación con la capa de aplicación. Los límites entre las capas son difusos, además podrían identificarse algunas sub-capas (p. ej., sub-niveles especiales para el soporte de QoS y movilidad en la capa de red, etc.).

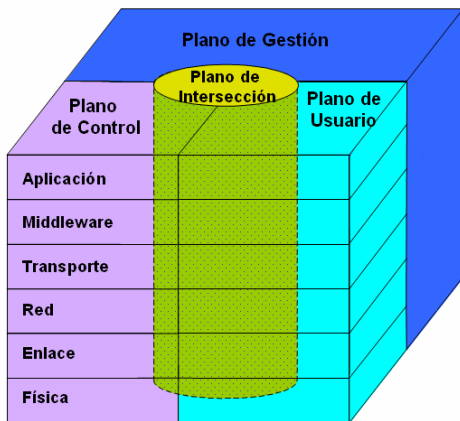


Figura 2: Modelo de Referencia de Integración de Sistemas de Comunicaciones Móviles de 4G.

El *plano de usuario* contiene funciones requeridas para la transferencia de datos entre dos entidades de red incluyendo en éste el control de flujo y la recuperación de errores. El *plano de control* es el responsable del establecimiento, mantenimiento y desconexión de conexiones lógicas de extremo a extremo y salto a salto, la implementación del soporte de movilidad independiente de las características del flujo (unicast, anycast, etc.). También, el plano de control es responsable del Control de Admisión de Conexión (CAC), control de congestión,

encaminamiento y gestión de políticas. Por otro lado, el paradigma ABC requiere de un *plano de gestión* para la monitorización de los estados de las redes de acceso de acuerdo al aprovisionamiento de los servicios para proveer dinámicamente toda la información necesaria al proceso de toma de decisiones en la red y el terminal. También se encarga de la coordinación de los demás planos y capas del modelo de referencia propuesto; incluye la detección y reporte de errores, la gestión de la topología, funcionalidades AAA y facturación, monitorización del rendimiento, gestión de acceso, seguridad y políticas.

EL desarrollo de técnicas basadas en la estrategia *cross-layer* tienen como objetivo introducir varios grados de conocimiento entre las capas. Hay que reconocer que el diseño de dichas estrategias, especialmente entre la capa física y la capa de control de acceso al medio (PHY-MAC), está aún en su fase inicial y abarcar todos los recursos de la capa física es una cuestión crítica, p. ej., como identificar los parámetros apropiados que puedan servir de información de intercambio entre las capas PHY-MAC permitiendo así procesos de re-configurabilidad [4] [5].

Las informaciones de intercambio en el plano de intersección en las capas inferiores pueden ser clasificadas como ([4]);

- *Información de canal (channel state information)*, por ejemplo la estimación de la respuesta impulsiva del canal, potencia de la señal, información sobre niveles de interferencia, etc.
- *Recursos a nivel de la capa física*, por ejemplo el número de antenas, procesado espacial, etc.
- *Calidad de servicio (QoS)*, como por ejemplo el throughput, el retardo, error de paquetes, medidas de error de bit (BER), etc.

En [6], la adaptación de la velocidad de transmisión a las condiciones del medio se basa esencialmente en la selección de conjuntos de antenas de transmisión con una velocidad de transmisión por antena constante, posteriormente, para añadir grados de libertad, se incorpora un sistema de adaptación del esquema de modulación. Esta técnica permite observar unas mejoras considerables respecto a sistemas donde la interacción cross-layer es inexistente.

Debido a que la gestión de la QoS es aún un problema abierto por la movilidad y la diversidad de requisitos de QoS de los servicios y los usuarios, es importante mantener simple la gestión del núcleo de la red y las redes de acceso introduciendo un sistema de toma de decisiones automáticas y dinámicas como el propuesto recientemente en el IETF. Este soporta todas las facetas complejas de la gestión de la red mediante la interconexión de redes basado en políticas (*policy based networking*) [7].

4. Modelo de Negocios para las Redes 4G.

Los modelos de negocio describen el flujo de dinero y bienes entre los actores envueltos en la provisión y uso de los bienes y servicios. En la Fig. 3 se muestra una comparación entre los modelos de negocios gobernantes en los sistemas de comunicaciones 2G y 3G fundamentados en el usuario como *subscriber* de los servicios. En la misma figura se muestra una propuesta de modelo de negocio para redes 4G considerando al usuario como *consumidor* de servicios, otorgándole mayor libertad para la selección de distintas ofertas.

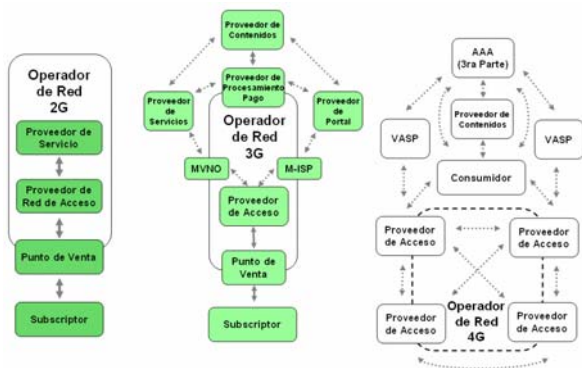


Figura 3: a) Modelo de Negocio de redes 2G, b) para redes 3G y c) Propuesta de Modelo de Negocio para redes 4G.

Tradicionalmente la cadena de valores y el modelo de negocio para redes 2G consiste en proveedores de servicios y red dominados por las operadoras, incluyendo los servicios de valor añadido (VAS) y contenidos, como, el servicio SMS; sólo los puntos de venta de terminales suelen ser administrados por tercera partes, Fig. 3.a.

El modelo de negocios emergente en las redes 3G representa un cambio con respecto a los sistemas predecesores basados en las ofertas de servicios de suscripción, siendo apoyado por un marco de regulación más flexible, permite la incorporación de múltiples participantes como proveedores de contenido, proveedores de servicios de aplicación (ASPs) y de valor añadido (VASs), portales, punto de venta de terminales, etc., pero los servicios de acceso e interconexión continúan dominados por las grandes operadoras, Fig. 3.b. En el proyecto ANWIRE se propone un modelo de negocios aún más flexible basado en el *consumidor*, un paradigma de cambio que permite una mayor apertura de mercado tanto de los servicios de acceso e interconexión, como de aplicaciones y contenidos (Fig. 3.c). Caracterizado por la convivencia de múltiples tecnologías de acceso, un modelo de negocios basado en el *consumidor*, en lugar del *subscriber*, permitirá la utilización de los servicios mediante acuerdos entre los proveedores de servicios con uno o más proveedores de AAA administrados por terceras partes que gestionarán el crédito de los consumidores de servicios, la contabilidad y la facturación de servicios utilizados [8]. En una primera fase de implementación, la red doméstica del usuario aún podría encargarse de la

gestión de suscripciones de los servicios de sus usuarios hasta la introducción de proveedores de funcionalidades de AAA independientes, en una segunda, que habiliten la autonomía de los usuarios móviles.

5. Arquitectura de Redes de 4G de ANWIRE.

Estableciendo como marco de trabajo el análisis de las investigaciones previas sobre integración de sistemas y los requisitos de integración derivados (sección 2), el modelo de referencia genérico definido (sección 3) y el modelo de negocio propuesto para redes integradas de 4G en su primera fase de implementación (sección 4), el proyecto ANWIRE ha planteado una *arquitectura genérica de integración de servicios y sistemas de 4G* llamada GAIA¹, que está basada en la gestión de políticas [9]. Esta se presenta en la Fig.4. GAIA esta enfocada en “*dominios*”. Los dominios de GAIA son un conjunto de elementos de red controlado por un mismo *gestor* de políticas. Una política es un conjunto de una o más reglas con la forma “si <condición> entonces <acción>”.

Cada dominio está compuesto por un *gestor de políticas*, un *repositorio de políticas* y un *repositorio de perfiles* cuyas funcionalidades serán descritas en la tabla #1.

En GAIA proponemos cinco dominios que comprenden el *nodo móvil*, el *proveedor de servicio*, la *red de terminal*, y las *redes domésticas y foráneas*.

En GAIA asumimos que en el *dominio de red doméstica* toda la información relativa al usuario está contenida en el repositorio de perfiles de usuario.

Los perfiles de los terminales también están registrados en los *dominios de terminal* (proveedor de servicio especial enfocado en información sobre re-configuración del dispositivo).

Las *redes foráneas* proveen de conectividad a los terminales y usuarios fuera de la cobertura de sus redes domésticas. Estas redes también mantienen información sobre las capacidades y funcionalidades AAA en los repositorios respectivos.

Un gestor adicional para servicios de valor añadido (VAS Manager, VASM) coordina el aprovisionamiento de los servicios mediante control de adaptación y re-configuración.

Como se muestra en la Fig. 4., el *dominio de nodo móvil o terminal* puede ser extendido mediante redes ad hoc según las políticas incluidas en su repositorio sobre la compartimentación de recursos de radio con otros nodos.

¹ GAIA: General ANWIRE system and service Integration Architecture. También, antigua divinidad griega (“Madre Tierra”).

