

**Propuesta de implementación de los Servicios de Información (MIIS) de 802.21 como soporte al *Handover* en redes VANET**

*Proposal for implementation of 802.21 Information Services (MIIS) as Handover support in VANET networks*

Luis Alejandro Flétscher Bocanegra\*

*Universidad Católica Popular del Risaralda (Colombia)*

Antonio F. Gómez Skarmeta\*\*

*Universidad de Murcia (España)*

\* Magíster en Tecnologías de la Información y Telemática Avanzadas, Universidad de Murcia (España). Docente auxiliar, Ingeniería de Sistemas y Telecomunicaciones, Universidad Católica Popular del Risaralda, Pereira (Colombia). [luis.fletscher@ucpr.edu.co](mailto:luis.fletscher@ucpr.edu.co)

*Correspondencia:* Universidad Católica Popular del Risaralda, Carrera 21 n.º 49-95 Av. de las Américas. Pereira, Risaralda (Colombia). Tel: 312 4000, Ext. 135.

\*\* Ph. D. en Informática, Universidad de Murcia (España). Catedrático del Departamento de Ingeniería de la Información y las Comunicaciones, Facultad de Informática, Universidad de Murcia (España). [skarmeta@um.es](mailto:skarmeta@um.es)

**Subvenciones:** El desarrollo de investigación presentado en este artículo se encuentra enmarcado dentro del proyecto *SEISCIENTOS: providing adaptive ubiquitous services in vehicular contexts (TIN2008-06441-C02)*, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España y desarrollado de forma coordinada por el Grupo de Redes de Computadores de la Universidad Politécnica de Valencia y el Departamento de Ingeniería de la Información y las Comunicaciones de la Universidad de Murcia.

## Resumen

Las redes vehiculares tanto en esquemas vehículo a vehículo (V2V) como vehículo a infraestructura (V2I) configuran actualmente un gran campo de investigación y desarrollo. El proyecto *SEISCIENTOS* centra su trabajo en estudiar la viabilidad de estas tecnologías en el ámbito de los vehículos, explorar nuevas estrategias para el modelado de redes VANETs y dirigir el desarrollo hacia un entorno integrado que proporcione una interfaz común de comunicación, aislando al usuario de las transferencias que puedan producirse entre las diferentes tecnologías de red.

Este artículo presenta una propuesta de implementación sobre NS2, del *Media Independent Information Service* (MIIS) de IEEE 802.21 [1], de tal forma que permita evaluar los aspectos relacionados con su incidencia en el escenario de prueba definido para el proyecto *SEISCIENTOS*.

**Palabras clave:** VANETs, 802.21, MIHS, MIIS.

## Abstract

Vehicular networks, both schemes vehicle to vehicle (V2V) and vehicle-infrastructure (V2I), are specially considered in different research and development processes nowadays. The *SEISCIENTOS* project focuses its work on studying the feasibility of these technologies in the field of vehicles, exploring new strategies for network modeling in VANETs and directing all the development to an integrated environment that provides a common interface for communication; isolating the user from transfers or changes that may occur between different network technologies.

This article presents a proposal for implementation on NS2, the *Media Independent Information Service* (MIIS) of IEEE 802.21 [1], so that it allows to assess aspects of its impact in the test scenario defined for the development of the *SEISCIENTOS* project.

**Keywords:** VANETs, 802.21, MIHS, MIIS.

Fecha de recepción: 12 de agosto de 2010  
Fecha de aceptación: 8 de octubre de 2010

## 1. INTRODUCCIÓN

Las redes inalámbricas de comunicación entre vehículos (VANETs o *Vehicular Ad hoc NETWORKS*) se articulan en la actualidad como una tecnología prometedora para mejorar la seguridad en las carreteras. Las principales líneas de investigación quieren utilizar esta tecnología para ofrecer sistemas inteligentes de transporte (ITS), cuyo objetivo prioritario es la formación de redes de comunicación entre vehículos (comunicación V2V), así como también entre los vehículos y la infraestructura de soporte (comunicación V2I). De esta forma se pretende proporcionar a cada conductor datos referentes a los vehículos que se encuentren en su zona de influencia, especialmente, de los que no estén en su campo visual [2].

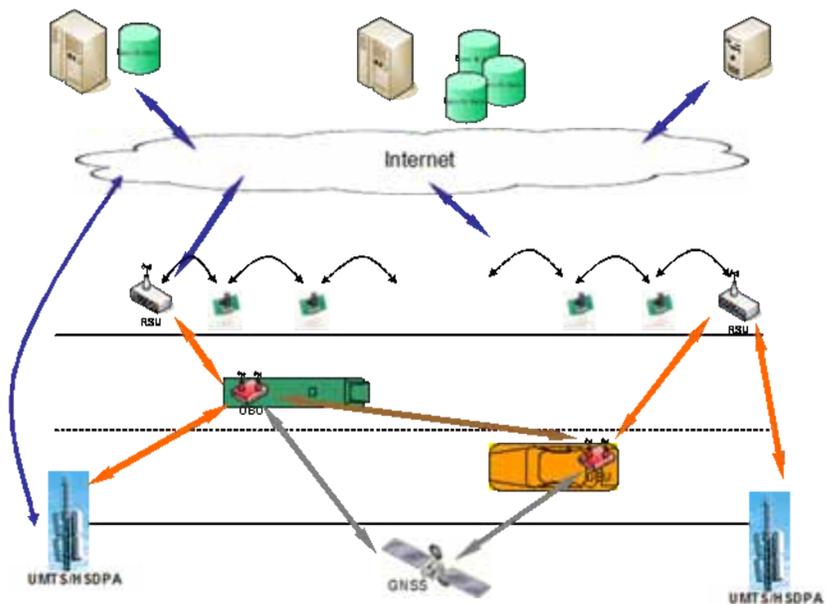
Debido al avance en las tecnologías de comunicación muchos son los aspectos a considerar a la hora de optar por un sistema de red. De esta manera, aunque las tecnologías VANET han predominado en comunicaciones V2V, se requiere estudiar si las necesidades de cada servicio concebido para el entorno vehicular se pueden suplir con las capacidades que han demostrado ofrecer tales sistemas. Las aplicaciones orientadas a la prevención de colisiones han sido los principales servicios de seguridad considerados en vehículos. Sin embargo, cuando la amalgama de servicios tanto en el ámbito de la seguridad como en la provisión de información aumenta, se debe indagar por soluciones tecnológicas, suficientemente genéricas y flexibles, que suplan los requerimientos de una infraestructura de servicios.

Así, el proyecto *SEISCIENTOS: providing adaptive ubiquitous services in vehicular contexts* (TIN2008-06441-C02), que financia el Ministerio de Ciencia e Innovación de España y desarrolla de forma coordinada el Grupo de Redes de Computadores de la Universidad Politécnica de Valencia y el Departamento de Ingeniería de la Información y las Comunicaciones de la Universidad de Murcia, busca crear un marco de trabajo que satisfaga las necesidades de comunicación e infraestructura para proveer servicios dedicados a los usuarios finales en entornos vehiculares ubicuos [3].

Este artículo presenta los resultados del proyecto “*Diseño y simulación del Media Independent Information Service (MIIS) del estándar IEEE 802.21*”, que tuvo como objetivo principal estudiar los escenarios de interconexión y *handover* para *SEISCIENTOS*.

## 2. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

Actualmente, el Departamento de Ingeniería de la Información y las Comunicaciones de la Universidad de Murcia se encuentra trabajando en el proyecto SEISCIENTOS, que busca ofrecer una solución integrada para el despliegue de sistema inteligente de transporte utilizando la tecnología VANET (*Vehicular Ad hoc NETWORKS*), principalmente. El escenario planteado se presenta en la figura 1.



Fuente: elaboración propia.

**Figura 1.** Esquema general de la arquitectura propuesta

En el escenario anterior se aprecia que el terminal móvil (vehículo) a lo largo de su recorrido requiere contar con la capacidad de conectarse a la red a través de diversas tecnologías de acceso, que, por lo tanto, le deban garantizar la continuidad de la comunicación y la ejecución de los procesos asociados a la prestación del servicio. Este tipo de escenarios es el que se utilizará para evaluar el desempeño del desarrollo realizado.

Una de las etapas de *SEISCIENTOS* plantea la evaluación de las tecnologías existentes para ofrecer conectividad a los dispositivos involucrados en la red. Para tal fin se estudian las problemáticas de la interconexión y de los *handoffs* verticales y horizontales, seleccionando un protocolo para la integración transparente de los dispositivos móviles, particularmente IEEE 802.21.

De esta manera se planteó al interior de *SEISCIENTOS* el proyecto “*Diseño y simulación del Media Independent Information Service (MIIS) del estándar IEEE 802.21*”, teniendo como su objetivo principal incluir y evaluar el desempeño del MIIS dentro de las simulaciones realizadas, a fin de obtener con una mayor flexibilidad en el manejo de las características de la red y proveer a los algoritmos de información adicional para tomar la decisión de selección de red más adecuada.

De acuerdo con lo anterior, a lo largo del artículo se presentan algunos aspectos relacionados con la implementación del MIIS en un entorno de simulación existente (NS2-NIST), para posteriormente analizar la incidencia del estándar IEEE 802.21 y su *Media Independent Information Service* en el escenario de prueba definido para el desarrollo del proyecto *SEISCIENTOS*.

### **3. DEFINICIÓN Y MEJORA DE UNA INFRAESTRUCTURA DE COMUNICACIÓN VANET EXTENDIDA**

Esta etapa del proyecto consistió en la evaluación de las tecnologías existentes para ofrecer conectividad a los dispositivos involucrados en la red. Para tal fin se estudiaron las problemáticas de la interconexión y de los *handoffs* verticales y horizontales seleccionando un protocolo para la integración transparente de los dispositivos móviles [4].

Particularmente en relación con los procesos de *handover*, tema en el que se centrarán las siguientes secciones, en esta etapa del proyecto existen dos tareas relacionadas con lo que se presentará como desarrollo.

#### **■ Interconexión y *handoffs***

Dada la naturaleza móvil de las redes VANET, este proyecto realiza un análisis y evaluación de las tecnologías que permiten la movilidad y la

interconexión a las redes en escenarios de *roaming*. El proyecto se centra en el uso de tecnologías de “IP móvil” y el estándar 802.21 [1] con el objetivo de ofrecer un mecanismo eficiente y escalable para nodos móviles dentro de Internet.

Básicamente los nodos tienen que poder cambiar sus puntos de acceso a Internet de forma transparente sin perder la conexión establecida, tanto en escenarios inter-tecnología e inter-dominio. Esto permite mantener el transporte y conexiones de alto nivel mientras se mueve. La movilidad del nodo es realizada sin la necesidad de propagar las rutas de los hosts a través del enrutamiento. En el caso de las VANETs, se esperan cambios frecuentes en la red de conexión utilizada dado el elevado grado de movilidad que caracteriza estas redes. Sin un soporte altamente eficiente para los procesos de *hand-off*, la operabilidad IP con el vehículo en movimiento estaría seriamente limitada.

#### ■ *Handoffs* verticales

Las futuras redes “all-IP” permitirán a los usuarios moverse a través de diferentes redes de acceso, sin que ello suponga una disminución perceptible en la calidad de servicio durante el proceso de *handoff* [5]. Por esta razón se requiere la definición de soluciones que permitan que el *handover* se realice de forma *seamless* o transparente tanto en entornos de intratecnología e intradominio de acceso como en escenarios de interdominio e intertecnologías.

Por esta razón se estudia y evalúa la viabilidad de aplicar en el entorno de VANET soluciones de *pre-authentication* y *fast-reauthentication* en ambientes 802.21 para los diferentes escenarios, así como también para la asistencia de nivel de enlace en el *handoff* de nivel de red a través de las propuestas actualmente en discusión en el IETF.

#### 4. EL PAPEL DEL ESTÁNDAR IEEE 802.21

El estándar IEEE 802.21, también conocido como *Media Independent Handover Services* (MIHS), tiene como propósito mejorar la experiencia del usuario para el *handover* entre redes, especialmente entre aquellas que poseen diferentes tipos de medios y que pertenecen a la familia IEEE

802, incluidas redes inalámbricas y cableadas, lo que, a su vez, garantiza coexistencia con tecnologías celulares. Para ello proporciona una funcionalidad MIH (*Media Independent Handover*) que facilita los procesos de *handover* iniciados tanto por el móvil como por la red [1].

MIHS garantiza el *handover* en redes heterogéneas, puesto que soporta y define un marco de trabajo para proveer información intercambiable y actualizada en cuanto a las condiciones del enlace y características de las redes disponibles, al igual que en un conjunto de componentes funcionales para tomar y ejecutar decisiones de movilidad y garantizar el mejor aprovechamiento de las diferentes redes a las que tengan acceso los usuarios en un momento determinado [6].

Es importante recalcar que los aspectos derivados de los procesos de *handover* en redes heterogéneas concernientes a capa 3 y superiores se escapan del alcance del estándar IEEE 802.21, en la medida en que este se restringe a garantizar los mecanismos de seguridad, políticas y procesos propios de la capa de enlace durante la realización del *handover*.

### **Modelo de referencia 802.21**

El estándar define las herramientas necesarias para el intercambio de información, eventos, y comandos a fin de facilitar la iniciación y preparación del *handover* sin adentrarse en los procesos de ejecución que se realizan actualmente. Por lo tanto, el marco propuesto en MIH es igualmente aplicable tanto a los sistemas que emplean IP móvil en la capa IP como a los sistemas que emplean *Session Initiation Protocol* (SIP) en la capa de aplicación [5].

IEEE 802.21 introduce una nueva entidad lógica llamada *Media-Independent Handover Function* (MIHF), ubicada entre la capa de enlace y la capa de red, que proporciona servicios a las capas superiores a través de una interfaz independiente del medio y obtiene información de las capas inferiores a través de las interfaces específicas.

En este entorno aparece el concepto de usuarios MIH (MIHUs), los cuales son abstracciones de los elementos funcionales que emplean los servicios de MIH, es decir, los consumidores de los servicios de MIH residentes en

la capa de red y superiores como, por ejemplo, una aplicación encargada de gestionar la movilidad. El MIHF abarca tres tipos de servicios [6]:

- *Media-independent event service (MIES)*. Se encarga de detectar los cambios en las propiedades de la capa de enlace y generar los informes de eventos correspondientes de las interfaces locales y remotas. Los eventos remotos se obtienen a través de la comunicación con una entidad MIHF par.
- *Media-independent command service (MICS)*. Proporciona un conjunto de comandos para los usuarios MIH locales y remotos con el fin de controlar el estado del enlace a partir de información obtenida de forma dinámica.
- *Media-independent information service (MIIS)*. Proporciona información estática acerca de redes vecinas, incluyendo su ubicación, propiedades y servicios relacionados. Esta información puede ser utilizada para ayudar en la toma de una decisión sobre la elección del *handover* objetivo, o para hacer los preparativos preliminares para el traspaso.

Los servicios MIH pueden ser locales o remotos. La operación local ocurre cuando se produce dentro la pila de protocolos, mientras que la operación remota se da entre dos entidades MIHF. Por ejemplo, la comunicación a distancia puede ocurrir entre una entidad MIHF en un nodo móvil (MN) y otra entidad MIHF que se encuentra en la red.

El papel principal de MIHF es ayudar en el proceso de *handover* y en la toma de decisión del *handover*, proporcionando toda la información necesaria para que el selector de red o las entidades de gestión de la movilidad tomen las decisiones correspondientes basadas en sus políticas internas. Estos últimos son los únicos responsables de dichas decisiones, es decir, la MIHF no busca tomar ninguna decisión con respecto a la selección de la red [6].

### **Simulación de ambientes 802.21**

Buscando conocer el comportamiento del estándar IEEE 802.21 en entornos relacionados con el objetivo del proyecto, se planteó un proceso

de simulación que permitiera ilustrar el funcionamiento del *Media-Independent Handover Services* (MIHS) en diferentes escenarios. Para su desarrollo se utilizó el simulador de eventos discretos *Network Simulator 2* (NS2), combinado con el módulo para movilidad desarrollado por la *Advanced Network Technologies Division* del *National Institute of Standards and Technology* (NIST) [7], dentro del *Seamless and Secure Mobility Project*, el cual incluye un módulo para diseñar escenarios 802.21 y probarlos en el NS2.

El desarrollo realizado por el NIST busca suplir las carencias del NS2 en cuanto al soporte de escenarios de movilidad mediante la implementación de una serie de funcionalidades que permiten simular eventos de *handover* a nivel de capa 2 y capa 3. Estas modificaciones se realizaron hacia el año 2007; luego debían ser soportadas en la versión 2.29 del NS2 y teniendo como base las especificaciones del MIHF planteadas en el *draft 3* del 802.21 *Working Group*.

Dentro de los objetivos planteados para la versión desarrollada por el NIST están el proveer una plataforma para evaluar el desempeño y funcionamiento del MIHF y encontrar elementos claves que pudiesen ayudar a definir las primitivas involucradas en los diferentes procesos de decisión del *handover*. Las tecnologías soportadas por este módulo son: 802.11, 802.3, 802.16 y UMTS.

En cuanto a su estructura, el MIHF fue implementado como un agente de NS2, que puede enviar paquetes capa 3 a MIHFs remotos. Así mismo contiene la lista de las interfaces locales de las que obtiene su estado y comportamientos. Igualmente, el usuario MIH se implementó como un agente que se registra ante el MIHF para recibir eventos de interfaces locales y remotas.

De cara a las necesidades del proyecto, uno de los inconvenientes encontrados es que el desarrollo realizado por el NIST solo implementa dos de los tres servicios definidos en el estándar 802.21, el *Media Independent Event Service* (MIES) y el *Media Independent Command Service* (MICS), y soporta *handovers* basados solo en información del enlace y no en características complementarias de la red.

De esta manera, buscando contar con una mayor flexibilidad en el manejo de las características de la red y teniendo la necesidad de evaluar diferentes algoritmos de *handover*, se plantea complementar el módulo NIST y adicionar una funcionalidad que permita contar con el *Media Independent Information Service* (MIIS) de manera que a través suyo se provea a los algoritmos de información adicional que permita tomar la decisión de *handover* más adecuada.

## 5. METODOLOGÍA

El desarrollo del proyecto se dividió en tres grandes etapas que se presentan a continuación:

1. *Estudio de antecedentes e información relacionada.* Esta etapa comprendió la exploración teórica de desarrollos similares realizados previamente con el fin de determinar los parámetros de desarrollo para el módulo que se adaptaran de la mejor manera a las necesidades del proyecto SEISCIENTOS.
2. *Diseño y desarrollo del módulo MIIS.* Para el diseño y desarrollo del MIIS se siguieron las propuestas definidas en el estándar IEEE 802.21 tanto para el intercambio de mensajes como para la estructura de los datos que representarían los elementos de información (IEs).
3. *Pruebas de funcionamiento y validación del desarrollo.* Una vez desarrollado el MIIS, se procedió a su integración con el módulo del NIST y se estructuró un plan de pruebas con el escenario genérico de trabajo definido al interior del proyecto SEISCIENTOS, que valida el correcto intercambio de información y su misma disponibilidad para los algoritmos de *handover* que se desarrollen a futuro.

De acuerdo con lo anterior los parámetros que se tuvieron en cuenta al momento de realizar las pruebas fueron los siguientes:

- Disponibilidad de la base de datos al momento de iniciar el proceso.
- Generación del requerimiento de información por parte del nodo móvil al servidor MIIS.

- Consulta y recuperación de la información en la base de datos del MIIS.
- Adaptación de la información recuperada al formato de paquete 802.21.
- Envío de información al nodo móvil.
- Recepción y despliegue de la información.

De esta forma una vez validado el desarrollo realizado, se dió por concluido el proyecto, que se espera sirva de punto de partida para futuros trabajos que deseen explorar las potencialidades de 802.21 en diferentes entornos de interoperabilidad inalámbrica y plantear esquemas y políticas de *handover* basados en información técnico-administrativa disponible a través del MIIS.

## 6. DESARROLLO DEL MÓDULO MIIS

Para el desarrollo del MIIS, se siguieron las propuestas definidas en el estándar IEEE 802.21 [1] tanto para el intercambio de mensajes como para la estructura de los datos que representarían los elementos de información (IEs).

Como se mencionó previamente, la implementación del MIHF realizada por el NIST es una extensión de la clase agente definida en NS-2. Su estructura general está compuesta por una serie de archivos desarrollados en lenguaje C/C++ entre los que se destaca el archivo *mih.cc*, que contiene parte correspondiente a la MIHF y en cuyo interior se han adicionado las funciones que implementan el MIIS.

La implementación del módulo MIIS mantiene la estructura general del MIHF desarrollada por el NIST, al mismo tiempo que adiciona al MIHF nuevas funciones con las que se da el intercambio de primitivas entre los diferentes actores del proceso. Particularmente se desarrolló una función para cada una de las primitivas a intercambiar (*send Get Information Request*, *received Get Information Request*, *send Get Information Response*, *received Get Information Response*, *Get Information Response*).

### **Definición de los elementos de información (IEs: *Information Elements*)**

De acuerdo con lo definido en el estándar el MIIS soporta diferentes IEs, los cuales proporcionan información que es esencial para tomar decisiones

inteligentes de *handover*. Los elementos de información se dividen en los siguientes tres grupos:

1. *Información general y específica de las redes de acceso*. Estos elementos de información proporcionan una visión general de las diferentes redes que brindan cobertura en un área determinada.
2. *Información específica de los puntos de conexión (PoA)*. Estos elementos de información proporcionan datos sobre los PoAs para cada red de acceso disponible.
3. *Otra información de interés para el proveedor*.

De esta forma, y considerando los parámetros relevantes para los escenarios de *pre-authentication* y *fas-retauthentication* estudiados en el proyecto SEISCIENTOS, se determinó el conjunto de elementos de información a trabajar, que se muestran en la tabla 1 junto a la codificación realizada para cada uno de ellos.

**Tabla 1**  
Elementos de información seleccionados para el proyecto

Nombre	Descripción	Tipo de dato	Codificación C/C++
<b>Elementos de información de carácter general</b>			
IE_NETWORK_TYPE	Tipo de enlace de las redes de acceso disponibles en un área geográfica dada.	NETWORK_TYPE	<pre>typedef struct {     u_int LINK_TYPE; } NETWORK_TYPE;</pre>
IE_OPERATOR_ID	Identificación del operador. Incluye el nombre del operador y un código de identificación.	OPERATOR_ID	<pre>typedef struct {     char OP_NAME [32];     u_int OP_NAMESPACE; } OPERATOR_ID ;</pre>

*Continúa...*

Elementos de información específicos de la red de acceso			
IE_NETWORK_ID	Identificador de la red de acceso.	NETWORK_ID	typedef char NETWORK_IDs [32];
IE_COST	Indica el costo por el uso del servicio o la red. Incluye la unidad de medición, el valor por unidad y la moneda en que se va a tarifar.	COST	typedef struct {  u_int COST_UNIT;  float COST_VALUE;  char COST_CURR [4];  } COST ;
IE_NETWORK_DATA_RATE	Es el valor máximo de la tasa de datos soportada por el enlace de datos o la red de acceso.	DATA_RATE	typedef u_int NETWORK_DATA_RATE;
Elementos de información de interés para el proyecto SEISCIENTOS			
IE_SEC_OPEN_AUTH	Si se permite realizar una autenticación abierta ( <i>open authentication</i> ).	bool	typedef bool SEC_OPEN_AUTH;
IE_SEC_PASSWORD	Si se permite realizar una autenticación basada en <i>passwords</i> .	bool	typedef bool SEC_PASSWORD;
IE_SEC_EAP_REAUTH	Si existe soporte para reautenticación.	bool	typedef bool SEC_EAP_REAUTH;
IE_SEC_EAP_PREAUTH	Si existe soporte para preautenticación.	bool	typedef bool SEC_EAP_PREAUTH;
IE_SEC_AUTH_TIME	Tiempo medio de autenticación medido	Float	typedef float SEC_AUTH_TIME;

**Fuente:** elaboración propia.

La codificación de estos elementos de información se realizó de acuerdo a los tipos abstractos de datos definidos en el anexo F del estándar [1] y se incluyó en el archivo *mih-types.h*, el cual almacena los tipos de datos que el NIST planteó para el desarrollo del módulo MIH.

### Definición de los *Container Networks*

El estándar IEEE 802.21 define dos métodos para enviar los requerimientos de información: el TLV (*Type-Length-Value*) y el RDF (*resource description*

*framework*) para el desarrollo de este proyecto se seleccionó el TLV por ser más eficiente en el manejo de los datos y el procesado de la información [8].

En el esquema TLV, un papel importante lo juegan los denominados *Container Networks*, es decir, son una estructura diseñada para almacenar los elementos de información referentes a una red de acceso determinada. Para la implementación de los *Container Networks*, se siguió el esquema planteado en [1] y se realizó la codificación mostrada en la tabla 2. Dicha codificación se incluye en el archivo *mih-types.h*.

**Tabla 2**  
Definición del *Container Network*

Nombre	Descripción	Codificación C/C++
IE_CONTAINER_NETWORK	Contiene la información que describe la red de acceso.	<pre>typedef struct {     NETWORK_TYPE IE_NETWORK_TYPE;     OPERATOR_ID IE_OPERATOR_ID;     NETWORK_IDs IE_NETWORK_ID;     COST IE_COST;     NETWORK_DATA_RATE IE_NETWORK_DATA_RATE;     SEC_OPEN_AUTH IE_SEC_OPEN_AUTH;     SEC_PASSWORD IE_SEC_PASSWORD;     SEC_EAP_REAUTH IE_SEC_EAP_REAUTH;     SEC_EAP_PREAUTH IE_SEC_EAP_PREAUTH;     SEC_AUTH_TIME IE_SEC_AUTH_TIME; } CONTAINER_NETWORK;</pre>

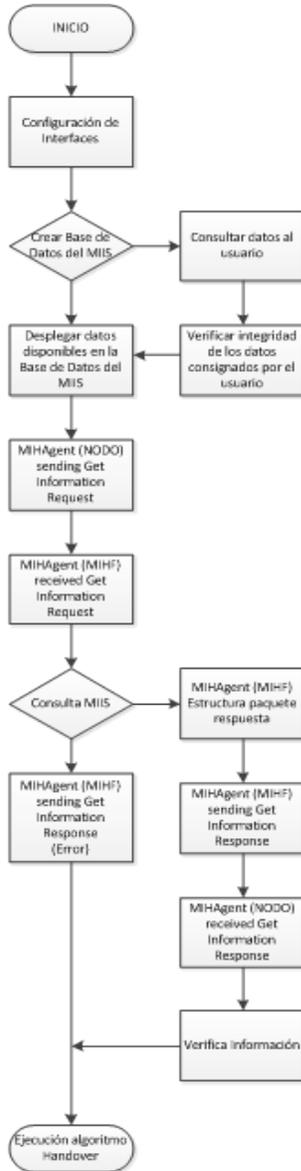
**Fuente:** elaboración propia.

## 7. SIMULACIÓN Y RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez definidos los tipos de datos e implementadas las funciones que permiten el intercambio de mensajes, se integró el desarrollo con los archivos del NIST y se probó su funcionamiento dentro de diversos escenarios de multitecnología en un entorno de movilidad.

A partir de estos escenarios se generó un proceso de simulación en NS-2. Este proceso sigue la estructura lógica presentada en la figura 2 a la vez que aclara la finalidad en cuanto a comprobar que el nodo móvil reciba

efectivamente la información contenida en el MIIS. Así, a partir de allí y en posteriores trabajos, es posible lograr implementar y probar los algoritmos de *handover*.

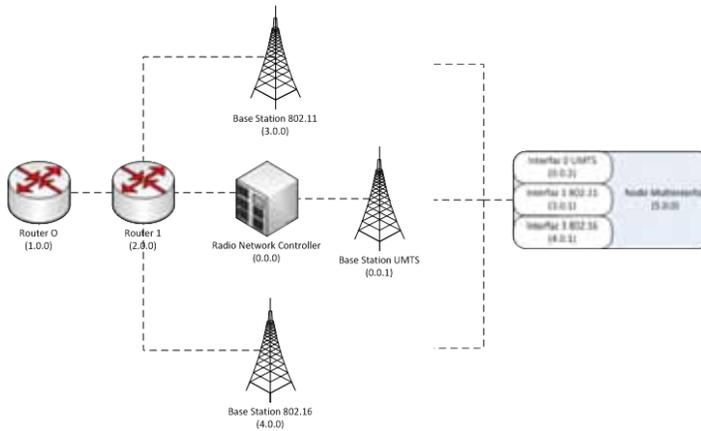


Fuente: elaboración propia.

Figura 2. Proceso seguido para la simulación

El primer escenario probado es la base del proyecto SEISCIENTOS; este incluye un nodo multiinterfaz y tecnologías UMTS, 802.11 y 802.16, de tal forma que tengan procesos de *handover* verticales a lo largo de la simulación. El otro escenario es una combinación de las tecnologías WiMAX – WiFi con diversos puntos de acceso para cada una de ellas, en donde se busca corroborar la funcionalidad del desarrollo realizado en diferentes entornos.

### Escenario base proyecto SEISCIENTOS



Fuente: elaboración propia.

**Figura 3.** Escenario de movilidad con múltiples tecnologías de acceso

El escenario propuesto (figura 3) incluye una conexión TCP entre el *router* 0 y el nodo Multiinterfaz, de tal forma que:

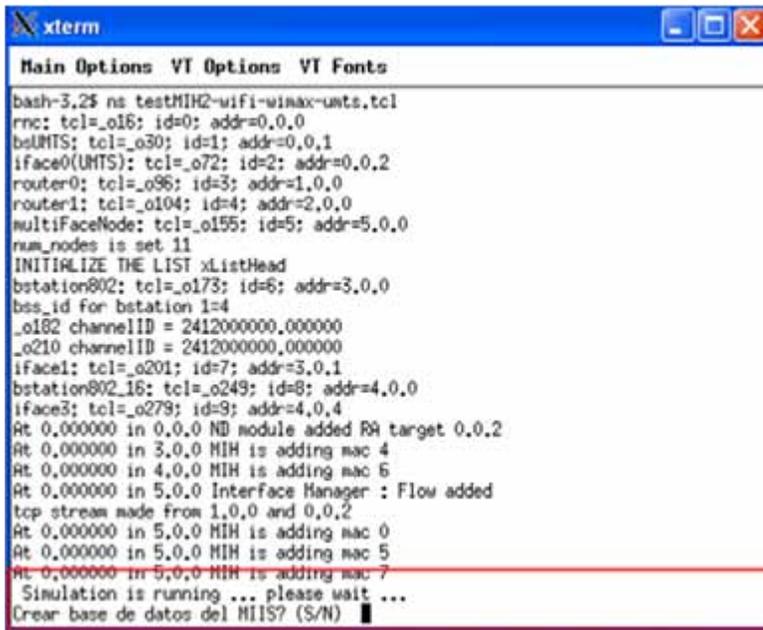
1. El tráfico se inicia en la interfaz UMTS.
2. El nodo ingresa en la red IEEE 802.16 y el tráfico es redireccionado a esta nueva red
3. El nodo entra en la red IEEE 802.11 y el tráfico se redirecciona allí.
4. El nodo deja la red IEEE 802.11 y el tráfico se redirecciona a la red IEEE 802.16.

5. El nodo abandona la red IEEE 802.16 y el tráfico se redirecciona nuevamente a la UMTS.

El resultado obtenido fue el siguiente:

1. *Generación de la base de datos del MIIS*

Al iniciar la simulación, una vez se lanza el proceso de registro se pregunta al usuario si desea crear la base de datos para el MIIS (figura 4); si la respuesta es positiva, deberá ingresar manualmente la información de las diferentes redes disponibles. Si existe una base de datos previa, el usuario la puede seleccionar sin crearla, a lo que el sistema responderá mostrando la información con que cuenta (figura 5).



```
bash-3.2$ ns testMIH2-wifi-wimax-umts.tcl
rnc: tcl=_o16; id=0; addr=0,0,0
btsUMTS: tcl=_o30; id=1; addr=0,0,1
iface0(UMTS): tcl=_o72; id=2; addr=0,0,2
router0: tcl=_o96; id=3; addr=1,0,0
router1: tcl=_o104; id=4; addr=2,0,0
multiFaceNode: tcl=_o155; id=5; addr=5,0,0
num_nodes is set 11
INITIALIZE THE LIST xListHead
bstation802: tcl=_o173; id=6; addr=3,0,0
bss_id for bstation 1=4
_o182 channelID = 2412000000,000000
_o210 channelID = 2412000000,000000
iface1: tcl=_o201; id=7; addr=3,0,1
bstation802_16: tcl=_o249; id=8; addr=4,0,0
iface3: tcl=_o279; id=9; addr=4,0,4
At 0,000000 in 0,0,0 NB module added RA target 0,0,2
At 0,000000 in 3,0,0 MIH is adding mac 4
At 0,000000 in 4,0,0 MIH is adding mac 6
At 0,000000 in 5,0,0 Interface Manager : Flow added
tcp stream made from 1,0,0 and 0,0,2
At 0,000000 in 5,0,0 MIH is adding mac 0
At 0,000000 in 5,0,0 MIH is adding mac 5
At 0,000000 in 5,0,0 MIH is adding mac 7
Simulation is running ... please wait ...
Crear base de datos del MIIS? (S/N) |
```

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Creación de la base de datos del MIIS



```
xterm
Main Options:  VI Options:  VI Fonts:
Simulation is running ... please wait ...
Crear base de datos del MIIS? (S/N) n
Los datos contenidos en el MIIS son:

DATOS DE LA RED: 1

Tipo de Red: 1
Nombre del operador: Telefonica
Tipo de operador: 1
ID del Operador: 123
Tasa de datos: 2048
Unidad de tarificación: 0
Costo por unidad: 1
Moneda de tarificación: USD
Tiempo medio de autenticación: 1
Soporte de autenticación abierta: 1
Soporte de autenticación basada en password: 1
Soporte de reautenticación: 0
Soporte de preautenticación: 0

DATOS DE LA RED: 2

Tipo de Red: 19
Nombre del operador: UN
Tipo de operador: 4
ID del Operador: 345
Tasa de datos: 4096
Unidad de tarificación: 7
Costo por unidad: 0
Moneda de tarificación: EUR
Tiempo medio de autenticación: 2
Soporte de autenticación abierta: 1
Soporte de autenticación basada en password: 1
Soporte de reautenticación: 1
Soporte de preautenticación: 1
```

Fuente: elaboración propia.

**Figura 5.** Verificación de la información disponible en la base de datos del MIIS

Si bien es cierto que el proceso anterior no está relacionado con el estándar, su implementación se justifica desde la necesidad de garantizar la existencia de los datos necesarios para llevar a cabo el intercambio de información.

## 2. Envío del requerimiento de información

Una vez verificada la existencia de la base de datos, el módulo de *handover* ejecuta sus procesos de verificación del estado de las interfaces. En el instante en que conoce cuál es la interfaz que utilizará, el nodo multiinterfaz genera un mensaje de requerimiento de información al MIHF (figura 6).



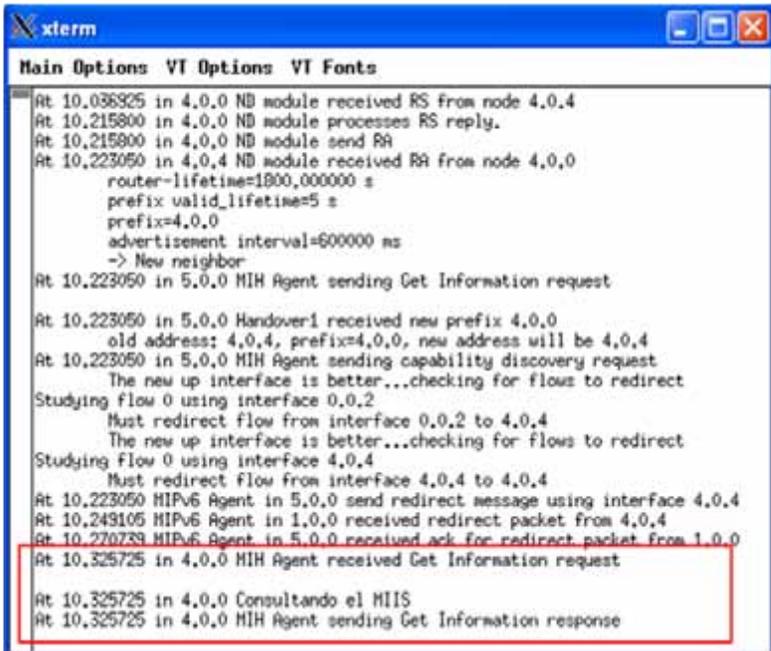
```
Link ID: linkType=27, macMobileTerminal=7, macPoA=-1
Capabilities are: commands:f, events:1bf
MIH User subscribing for events 1fb on Mac 7
Subscription status: requested=1fb, result=1bb
channel.cc:zendUp - Calc highestAntennaZ_ and distCST_
highestAntennaZ_ = 1.5, distCST_ = 513.3
SORTING LISTS ...DONE!
At 6.702314 in 5.0.0 MIH Agent received LINK DETECTED trigger.
At 6.702314 in 5.0.0 Interface Manager received MIH event
At 6.702314 in 5.0.0 Handover1 link detected
type 27, MacAddr=7, PoA=6
The new interface is better...connect
I launch the connection on the link
At 9.000000 in 5.0.0 MIH Agent received LINK UP trigger.
At 9.000000 in 5.0.0 Interface Manager received MIH event
At 9.000000 in 5.0.0 Handover1 received link up
type 23, MacAddr=0, MacPoA=-1
Case2: sending RS
WARNING: At 9.000000 MIIPv6 Agent in 5.0.0 does not have ND to send RS
At 10.026581 in 5.0.0 MIH Agent received LINK UP trigger.
At 10.026581 in 5.0.0 Interface Manager received MIH event
At 10.026581 in 5.0.0 Handover1 received link up
type 27, MacAddr=7, MacPoA=6
Case2: sending RS
At 10.026581 MIIPv6 Agent in 5.0.0 requests ND to send RS
At 10.026581 in 4.0.4 ND module send RS
At 10.036925 in 4.0.0 ND module received RS from node 4.0.4
At 10.215800 in 4.0.0 ND module processes RS reply.
At 10.215800 in 4.0.0 ND module send RA
At 10.223050 in 4.0.4 ND module received RA from node 4.0.0
router-lifetime=1800.000000 s
prefix valid_lifetime=5 s
prefix=4.0.0
advertisement interval=600000 ms
-> New neighbor
At 10.223050 in 5.0.0 MIH Agent sending Get Information request
```

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Envío del requerimiento de información al MIHF

### 3. Recepción del requerimiento y envío de respuesta

Una vez generado el requerimiento, el MIHF recibe la notificación, consulta el MIIS, y envía la respuesta al nodo, tal como se observa en la figura 7.



```
At 10.036925 in 4,0,0 ND module received RS from node 4,0,4
At 10.215800 in 4,0,0 ND module processes RS reply.
At 10.215800 in 4,0,0 ND module send RA
At 10.223050 in 4,0,4 ND module received RA from node 4,0,0
  router-lifetime=1800,000000 s
  prefix-valid-lifetime=5 s
  prefix=4,0,0
  advertisement interval=600000 ns
  -> New neighbor
At 10.223050 in 5,0,0 MIH Agent sending Get Information request

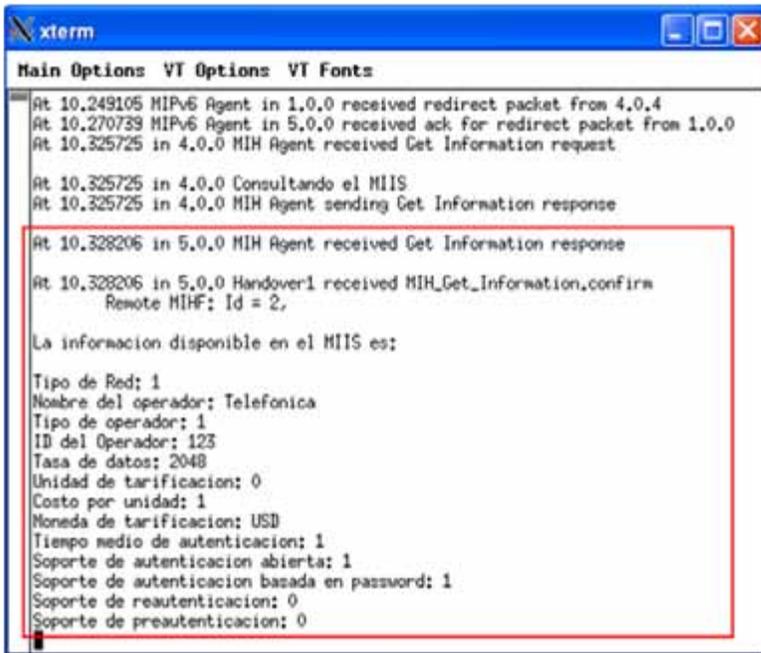
At 10.223050 in 5,0,0 Handover1 received new prefix 4,0,0
  old address: 4,0,4, prefix=4,0,0, new address will be 4,0,4
At 10.223050 in 5,0,0 MIH Agent sending capability discovery request
  The new up interface is better...checking for flows to redirect
Studying flow 0 using interface 0,0,2
  Must redirect flow from interface 0,0,2 to 4,0,4
  The new up interface is better...checking for flows to redirect
Studying flow 0 using interface 4,0,4
  Must redirect flow from interface 4,0,4 to 4,0,4
At 10.223050 HIPv6 Agent in 5,0,0 send redirect message using interface 4,0,4
At 10.249105 HIPv6 Agent in 1,0,0 received redirect packet from 4,0,4
At 10.270739 HIPv6 Agent in 5,0,0 received ack for redirect packet from 1,0,0
At 10.325725 in 4,0,0 MIH Agent received Get Information request
At 10.325725 in 4,0,0 Consultando el MIIS
At 10.325725 in 4,0,0 MIH Agent sending Get Information response
```

Fuente: elaboración propia.

**Figura 7.** Recepción del requerimiento, consulta al MIIS, y envío de la respuesta al nodo móvil

#### 4. Recepción y verificación de la información

El nodo multiinterfaz recibe la respuesta, verifica su integridad, confirma la recepción, y despliega la información que podrá utilizar para tomar decisiones (figura 8).



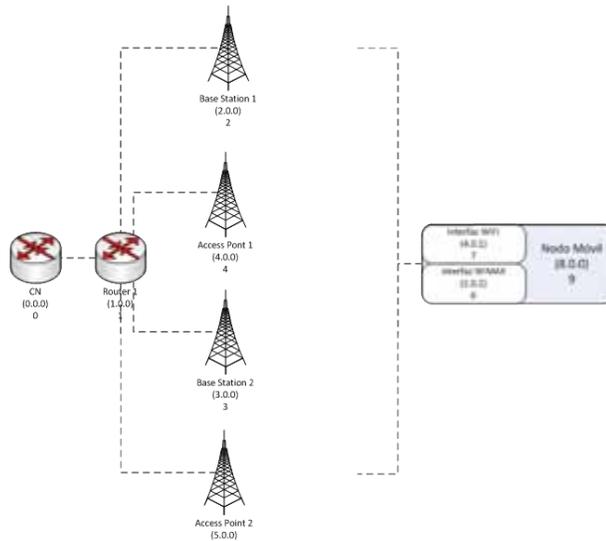
```
xterm
Main Options: VT Options: VT Fonts
At 10.249105 MIPv6 Agent in 1.0.0 received redirect packet from 4.0.4
At 10.270739 MIPv6 Agent in 5.0.0 received ack for redirect packet from 1.0.0
At 10.325725 in 4.0.0 MIH Agent received Get Information request.
At 10.325725 in 4.0.0 Consultando el MIIS
At 10.325725 in 4.0.0 MIH Agent sending Get Information response
At 10.328206 in 5.0.0 MIH Agent received Get Information response
At 10.328206 in 5.0.0 Handover1 received MIH_Get_Information.confirm
Remote MIHF: Id = 2,
La informacion disponible en el MIIS es:
Tipo de Red: 1
Nombre del operador: Telefonica
Tipo de operador: 1
ID del Operador: 123
Tasa de datos: 2048
Unidad de tarificacion: 0
Costo por unidad: 1
Moneda de tarificacion: USD
Tiempo medio de autentificacion: 1
Soporte de autentificacion abierta: 1
Soporte de autentificacion basada en password: 1
Soporte de reautenticacion: 0
Soporte de preautenticacion: 0
```

Fuente: elaboración propia.

**Figura 8.** Recepción y verificación de la información por parte del nodo multiinterfaz

### Escenario WIMAX - WIFI

El segundo escenario de simulación se compone de dos estaciones base WIMAX y dos puntos de acceso WIFI a través de los cuales el nodo móvil multiinterfaz se desplazará tal como se muestra en la figura 9. El objetivo de este proceso es verificar que el comportamiento del módulo desarrollado se mantiene independientemente del escenario que se esté simulando, además de analizar el proceso de intercambio de paquetes entre los diferentes actores del proceso.



Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Escenario de movilidad WIMAX - WIFI

### 1. Verificación del funcionamiento del módulo

Inicialmente se probó el funcionamiento del módulo en NS-2 con el nuevo escenario en donde se obtienen las salidas que presenta la figura 10.

The figure shows two screenshots of the NS-2 simulation output window. The left screenshot displays network events such as 'NB module processes RS reply', 'NB module send RA', and 'received BSA ack'. The right screenshot shows WIMAX-related events, including 'MIIS agent received Get Information request', 'Consultado el MIIS', and 'Handover: received M2M\_Set\_Information\_configure'. Red boxes highlight specific lines of output in both screenshots.

Fuente: elaboración propia.

Figura 10. Salidas del segundo proceso de simulación

De esta forma se observa que el intercambio de los mensajes y la recuperación de información se continúan dando de acuerdo al procedimiento establecido, aun en escenarios de *handover* diferentes. Este resultado tiene gran relevancia ya que garantiza la generalidad del proceso realizado y permite que sus funcionalidades puedan ser aplicadas a investigaciones futuras que requieran simular el protocolo 802.21 con un MIIS operativo.

## 2. Análisis del intercambio de paquetes

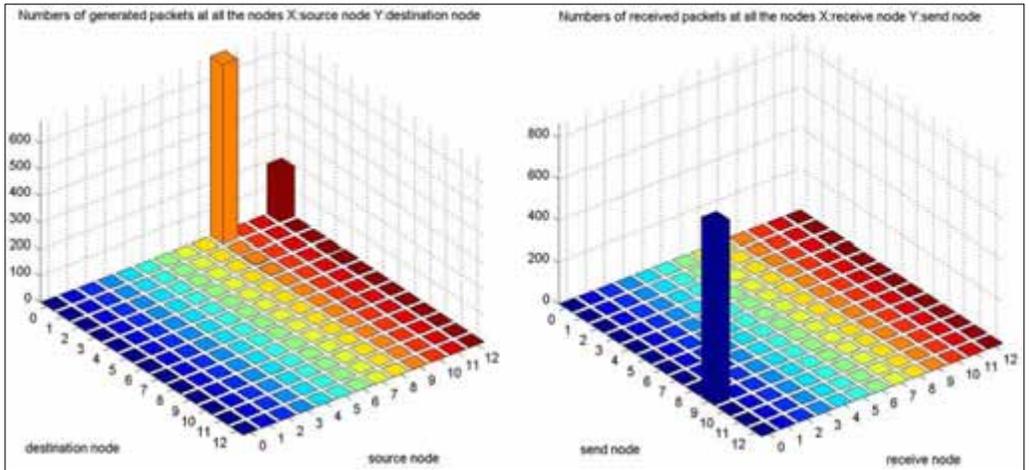
Para analizar el intercambio de paquetes mih entre los diferentes elementos de la red, se utilizó el *software Trace graph* en su versión 2.05, desarrollado por Jaroslaw Malek [9], que permite estudiar los archivos *trace* arrojados por NS-2 como producto de las simulaciones. Para una mejor comprensión de los gráficos, en la tabla 3 se presenta la identificación de cada uno de los elementos de acuerdo al esquema de direccionamiento jerárquico que se utiliza en NS-2.

**Tabla 3**  
Identificación de los elementos en *trace graph*

Elemento	Identificador	Elemento	Identificador	Elemento	Identificador
Nodo móvil (8.0.0)	9	Interfaz WIFI (4.0.1)	7	Interfaz WIMAX (2.0.2)	6
Access Point 2 (5.0.0)	5	Access Point 1 (4.0.0)	4	Base Station 2 (3.0.0)	3
Base Station 1 (2.0.0)	2	Router 1 (1.0.0)	1	Router 0 (0.0.0)	0

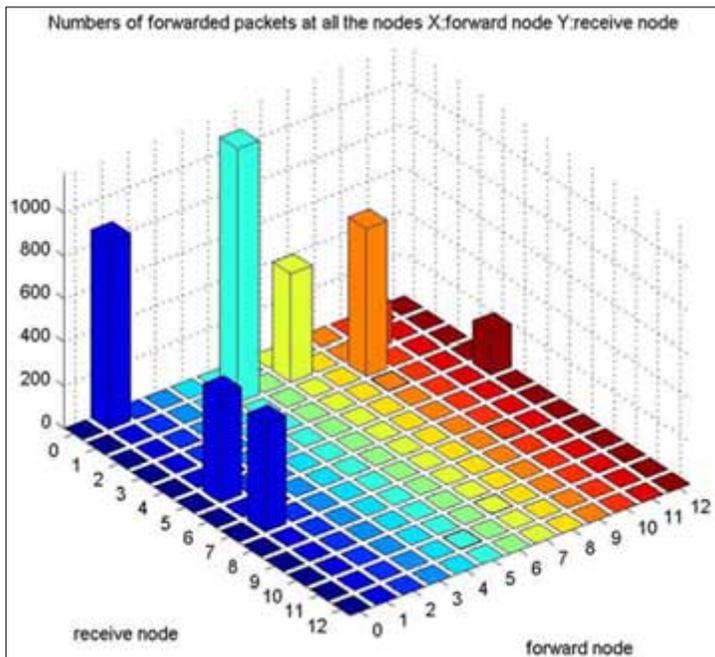
**Fuente:** elaboración propia.

La figura 11 presenta el envío de paquetes mih entre los puntos origen y destino; en ella se observa cómo el principal intercambio de información se da entre los nodos 9 y 0, es decir, entre el nodo móvil y el enrutador principal de la red, lo que muestra que la estructura definida para el flujo de información se mantiene.



Fuente: elaboración propia.

Figura 11. Intercambio de paquetes MIH



Fuente: elaboración propia.

Figura 12. Reenvío de paquetes mih entre los diferentes nodos

De igual forma, la figura 12 muestra los nodos que sirven de intermediarios en el flujo de los paquetes mih; en ella se aprecia el papel que cumplen las diferentes interfaces y los puntos de acceso a través de todo el proceso. Como aspecto relevante se aprecia que elementos pertenecientes a diversas tecnologías participan en el proceso, fenómeno que se presenta durante el *handover* y el cambio de enlace producido para tener continuidad en el servicio.

## 8. CONCLUSIONES

El desarrollo realizado tiene gran relevancia dentro del estudio del funcionamiento del estándar 802.21-2008 ya que complementa una herramienta que ha sido ampliamente utilizada, como es el módulo NIST y le incorpora funcionalidades adicionales que permiten desplegar escenarios que hacen uso de la totalidad de servicios definidos dentro de MIHS, simplificando el registro de información referente a las redes disponibles a través de una interfaz de fácil manejo y cumpliendo con las directrices brindadas en el estándar.

En cuanto a su aplicación dentro del proyecto SEISCIENTOS y el entorno de las redes VANET, este proyecto se constituye en elemento integrador garantizando la presencia de servicios de información 802.21 con los que facilita la incorporación de mediciones reales sobre el comportamiento de las redes en los procesos de autenticación, que ya fueron obtenidas en otras etapas del proyecto; y, consecuentemente, realiza estimaciones sobre el desempeño de los *handovers* teniendo como base datos reales.

A nivel general se observa que el estándar IEEE 802.21 se convierte en una buena alternativa para soportar procesos de *handover* en ambientes de múltiples tecnologías de acceso como los de las redes vehiculares; es particularmente relevante lo que hace referencia a la provisión de información de forma anticipada en la medida en que así se desarrollan alternativas como la preautenticación.

Si bien en ambientes homogéneos el *handover* se puede hacer teniendo en cuenta criterios de nivel de señal, para ambientes heterogéneos como el de las redes vehiculares la decisión del *handover* depende de un cúmulo de características que deben ser cuidadosamente definidas en políticas

que permitan aprovechar las bondades de cada una de las tecnologías presentes y beneficien al usuario final. En este sentido, la utilización del servicio de información (MIIS) de 802.21 mostró ser una buena alternativa para garantizar que el usuario contará con la información suficiente que le permita tomar decisiones óptimas en cuanto a los puntos que le brindarán acceso al servicio.

En lo que hace referencia a futuros trabajos que se pueden derivar de este proyecto, sería interesante evaluar el impacto que tiene la consulta al servidor de información en los tiempos requeridos para realizar la autenticación de tal manera que se logren optimizar los procesos de consulta respuesta y se planteen esquemas más eficientes de cara al despliegue de los algoritmos de *handover*.

## Referencias

- [1] IEEE, *IEEE Std 802.21™-2008. IEEE Standard for Local and metropolitan area networks – Part 21: Media Independent Handover Services*. New York, NY: IEEE Computer Society, 2009.
- [2] L. Baresi, C. Ghezzi, A. Miele, M. Miraz, A. Naggi and F. Pacifici, *Hybrid service-oriented architectures: a case-study in the automotive domain: Proc. 5th International Workshop on Software Engineering and Middleware (SEM'05)*. Lisbon, 2005, pp. 62 – 68.
- [3] Universidad Politécnica de Valencia (2008, Oct.). *Project SEISCIENTOS: providing adaptive ubiquitous services in vehicular contexts*, [Online]. Available: <http://www.grc.upv.es/600>. [Accessed: Apr. 17, 2010].
- [4] J. Rybicki, B. Scheuermann, W. Kiess, C. Lochert, P. Fallahi and M. Mauve, *Challenge: Peers on Wheels - A Road to New Traffic Information Systems: Proc. 13th Ann. ACM Int'l Conf. Mobile Computing and Networking (MobiCom 2007)*. New York, 2007, pp. 215 – 221.
- [5] P. Esa and K. Pentikousis, "IEEE 802.21", *The Internet Protocol Journal*, vol. 12, n.º 2, pp. 1 – 12, Jun. 2009.
- [6] K. Taniuchi, "IEEE 802.21: Media Independent Handover: Features, Applicability, and Realization", *IEEE Communications Magazine*, vol. 47, n.º 1, pp. 112 – 120, Jan. 2009.
- [7] NIST – National Institute of Standards and Technology. (2009, Feb). *Seamless and Secure Mobility Project. NIST – Advanced Network Technologies Division*. [Online]. Available: <http://w3.antd.nist.gov/seamlessandsecure/>. [Accessed: Nov. 5, 2009].

- [8] C. Antohe, *Practical approach of implementing Media Independent Information Service from IEEE 802.21 standard: Proc. Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic Systems Technology, 2009. Wireless VITAE 2009. Alborg, Denmark. IEEE Xplore, 2009.*
- [9] P. Vela (2005, Feb.). TraceGraph Help Page. [Online]. Available: <http://tagus.inesc-id.pt/~pestrela/ns2/tracegraph.html>. [Accessed: May 5, 2010].