

## Tecnología de voz sobre IP aplicada a la integración de plataformas de telefonía en instituciones académicas públicas de Argentina

Mariano Javier Martín ([marianojm@unvm.edu.ar](mailto:marianojm@unvm.edu.ar))  
Universidad Nacional de Villa María, Entre Ríos 1341, Villa María, Argentina

**Resumen:** Las plataformas de telefonía existentes en las instituciones académicas públicas de Argentina emplean una amplia variedad de tecnologías. En la mayoría de los casos dichas tecnologías son no convergentes hacia las TICs. Dado el actual escenario tecnológico se hace necesario revertir esta situación. El uso de tecnologías convencionales dificulta la integración entre las diferentes plataformas de telefonía. Gracias a la amplia colaboración entre los equipos técnicos de las instituciones participantes se pudo lograr la implementación de un proyecto que tiene como objetivo simplificar y mejorar las comunicaciones entre los diferentes actores que integran la comunidad académica nacional. Esto se consigue a través de un servicio de encaminamiento de llamadas en base a prefijos de marcado predefinidos por cada institución. Los beneficiarios del proyecto son alumnos, docentes, investigadores y personal administrativo. Para ello se definió una arquitectura de red basada en el protocolo SIP (Session Initiation Protocol) con la presencia de un servidor Proxy SIP central situado en el Datacenter de RIU (Red de Interconexión Universitaria) y varios servidores remotos en las instituciones miembros actuando como agentes de usuario de tipo back-to-back. (B2BUA) y la implementación de la seguridad se hizo a través de una red privada virtual basada en OpenVPN

### 1 Introducción

Este proyecto surge en respuesta a la problemática generada por la telefonía convencional. El objetivo del mismo es integrar las diferentes plataformas de telefonía existentes en las instituciones académicas públicas de Argentina empleando para ello la tecnología de voz sobre IP (VoIP) y protocolos de comunicación abiertos y escalables. Esto permite contar con un servicio de comunicación unificado, reducción de costos y mejoras en la calidad de la comunicación; aportes de los cuales está exenta la red actual por sus limitaciones. Se propone como mecanismo de control de llamada, la utilización de SIP (Session Initiation Protocol).

El eje del proyecto está basado en la estructura de un servidor Proxy SIP que utiliza el software OpenSER Kamailio y Asterisk, con un mecanismo de marcación que emplea un prefijo de identificación de la institución antepuesto al número de extensión. Ello, en virtud de facilitar el acceso a través de teléfonos convencionales que cuentan solamente con doce (12) teclas. Para su despliegue se utilizará la infraestructura de la Red de Interconexión Universitaria. Se consideró como solución de seguridad el uso de una red privada virtual basada en OpenVPN. Se emplea un mecanismo de calidad de servicio (QoS) para asegurar los niveles de latencia, jitter y pérdida de paquetes óptimos para VoIP. Se implementaron herramientas de monitoreo y administración del sistema, como así también un mecanismo para establecer teleconferencias administradas y moderadas a través de la Web basado en el proyecto AppKonference para Asterisk.

### 2 Área de Cobertura de los servicios y topología de la red

El sistema universitario público argentino está conformado por: cuarenta y seis (46) Universidades Nacionales y siete (7) Institutos Universitarios Estatales. Según estadísticas del año 2009 se cuenta con un total aproximado de 1.300.000 alumnos y la planta de personal supera los 160.000 entre docentes, autoridades y administrativos.

La ARIU (Asociación Redes de Interconexión Universitaria) es un esfuerzo conjunto de las universidades nacionales e institutos universitarios integrantes del CIN (Consejo Interuniversitario Nacional) con el propósito de llevar adelante la gestión de redes para facilitar la comunicación informática a nivel nacional e internacional de estas instituciones, promoviendo la investigación informática, tecnológica, educativa y el desarrollo cultural en el área de las tecnologías de información y comunicaciones (TIC).

Actualmente la RIU entrega el servicio de acceso de Internet a sus miembros y sus costos son financiados por las instituciones asociadas y el Ministerio de Educación de la Nación. La topología

de la red es de malla completa (full-mesh) con un sitio central en dependencias del Data Center de Telecom Argentina. Allí se encuentra instalado un router con administración de la RIU y conexión a la Internet mediante Telecom Argentina y conexión a Redes Avanzadas Internacionales a través de InnoVaRed y CLARA (Cooperación Latino Americana de Redes Avanzadas).

## **2 Protocolo de señalización**

### **2.1 Elección del Protocolo de señalización.**

SIP (Session Initiation Protocol), surge en principio como un protocolo sencillo a la hora de su definición, pero complicado desde el punto de vista del despliegue, por lo cual es necesario tener en cuenta sus aspectos esenciales. SIP es un estándar de la IETF (Internet Engineering Task Force) y su RFC (Request for comments) es el número 3261. Debido a que SIP es un protocolo simple en su constitución, requiere menos código en su implementación lo cual reduce los requerimientos de procesamiento y memoria de los equipos involucrados. Con SIP es posible procesar más llamadas para una determinada capacidad del sistema o emplear menor capacidad del sistema para un determinado número de llamadas procesadas. Esto permite reducir costos en cuanto al desarrollo de aplicaciones de usuario y también de los equipos a emplear por parte de los operadores de servicios de VoIP. Además, SIP contempla funciones diseñadas específicamente para su ampliación, permitiendo realizarla de manera más simple que con otros protocolos.

### **2.2 Características del Protocolo SIP.**

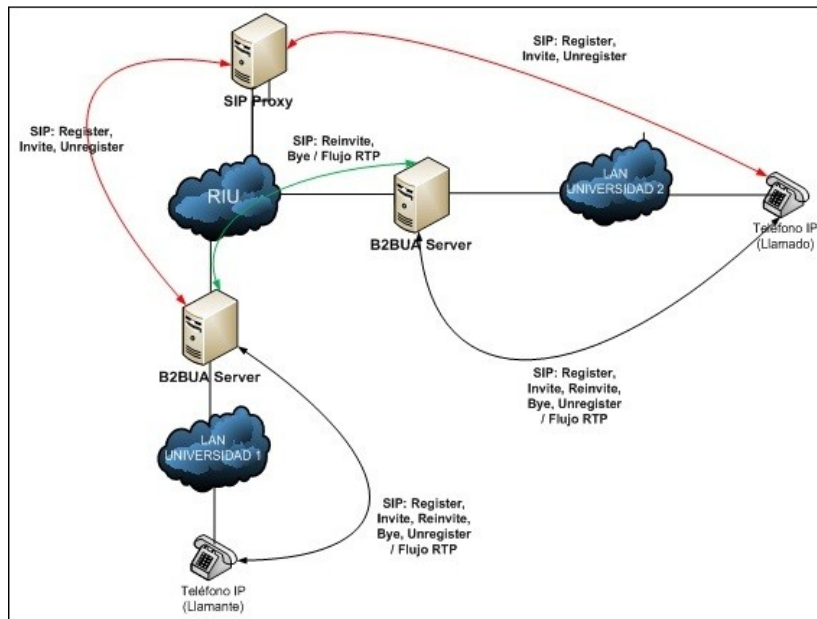
SIP es un protocolo de capa de aplicación, cuyo diseño permite una fácil implementación y una buena escalabilidad y flexibilidad. El inicio de la sesión, cambio o término de la misma, son independientes del tipo de medio o aplicación que establece la llamada; una sesión puede incluir varios tipos de datos, incluyendo audio, video en diversos formatos.

SIP se complementa con otros protocolos tales como SDP (Session Description Protocol) y RTP/RTCP (Real Time Protocol) para completar la comunicación. RTP/RTCP se emplea para transportar los datos multimedia en tiempo real mientras que SDP se utiliza para describir las características de los participantes de la sesión multimedia. Es un protocolo orientado a conexiones End-to-End. Toda lógica se encuentra almacenada en los dispositivos finales (salvo el ruteo de mensajes).

## **3 Arquitectura de la Red VoIP**

Se buscó definir la arquitectura de red en función de minimizar el impacto de costos y recursos humanos destinados a poner el proyecto en marcha; También fueron relevantes otros aspectos como la elección del software a utilizar. En todo momento se buscó una solución abierta y escalable. En este sentido se consideró que una solución basada en OpenSER (Sip Express Router) y Asterisk era la más apropiada.

Como solución a la problemática de SIP detrás de NAT (Network Address Translation), se definió el empleo de un Servidor Proxy SIP Central y varios Servidores B2BUA distribuidos. Las aplicaciones “back-end user” pueden actuar como punto intermedio (“middle man”) para los mensajes SIP, para el audio vía RTP, o ambos a la vez. Cada UA entonces dialogará con este punto intermedio (“middle man”) y nada conocerá del UA remoto. Los servidores que corren este tipo de aplicaciones reciben el nombre de “B2BUA”. Teniendo en cuenta esto, se plantea como arquitectura de nuestra red la existencia de un único servidor proxy SIP ubicado en el nodo central o Data Center de RIU, el cual dispondrá en su configuración de las rutas adecuadas basadas en prefijos predefinidos a los fines de poder redireccionar la señalización SIP hacia los destinos que correspondan en las diferentes instituciones y por otro lado la existencia en cada lugar remoto de su propio servidor actuando como B2BUA.



**Fig. 1** Arquitectura definida para la Red de Voz sobre IP de ARIU

En la figura 1 se puede apreciar claramente la separación de la comunicación en tres estadios. El primero (negro) es inherente a cada Universidad y está definido libremente de acuerdo a sus propias necesidades. El mismo consiste en establecer la comunicación entre un cliente (UAC) y su servidor B2BUA local. Tendrá también a su cargo la autenticación y el registro de dicho cliente. Este mismo servidor será el encargado de validarse en el proxy SIP de ARIU y encontrar la ruta adecuada que le permitirá llegar al servidor destino de la comunicación en otra

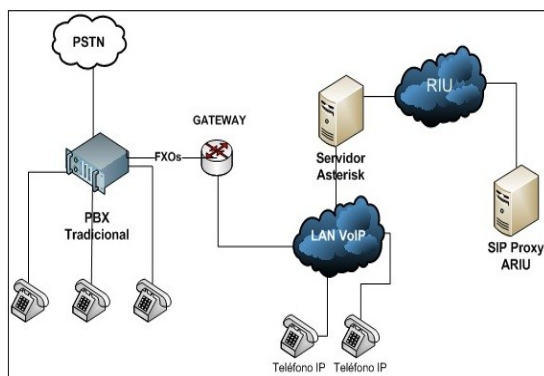
Universidad. Una vez ubicado el servidor destino, se establece otra etapa en la comunicación hacia su propio cliente, el cual es el verdadero destinatario de la llamada. Finalmente se puede ver que existe una etapa intermedia de señalización SIP y flujo de audio RTP entre los servidores locales de cada Universidad donde nada tienen que ver los clientes.

#### 4 Plataformas de telefonía existentes en las instituciones

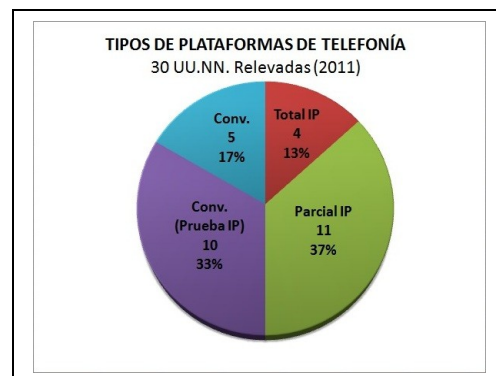
Este proyecto pretende lograr la integración de las diversas plataformas de telefonía existentes. Para ello fue necesario evaluar los posibles escenarios y definir una estrategia para su integración. Al respecto podemos resumir los siguientes tipos de plataforma disponibles:

- Plataforma de VoIP Centralizada (central telefónica única)
- Plataforma VoIP descentralizada (más de una central telefónica IP)
- Plataforma VoIP con protocolos diferentes a SIP (IAX, SCCP de Cisco, etc)
- Sin plataforma de VoIP o con plataforma mixta (VoIP y telefonía tradicional)

Para todos los casos se buscaron alternativas de inclusión a la red a través del empleo de dispositivos que actúan como puerta de enlace a la red analógica (gateways), la creación de troncales SIP entre servidores, etc.



**Fig. 2** Ejemplo de plataforma de telefonía mixta (VoIP y telefonía tradicional)



**Fig 3.** Tipos de Plataforma de telefonía (30 Universidades Nacionales Relevadas en 2011)

En la figura 3 se muestran los resultados del relevamiento realizado sobre 30 Universidades Nacionales en relación al tipo de plataforma de telefonía utilizada. Las categorías se definen a

continuación con orden creciente en implementación de tecnología VoIP: plataforma de telefonía convencional, plataforma de telefonía convencional con telefonía IP en prueba, plataforma mixta de telefonía convencional / IP y plataforma de telefonía IP exclusivamente.

Existen varios estudios (ver referencias) que determinan que usando tecnología de VoIP a través de Redes Privadas Virtuales (VPN) basadas en Secure Sockets Layers (SSL) es posible mejorar la calidad de la comunicación (medido a través del índice MOS - Mean Opinion Score). La mejora proviene del tipo de encapsulamiento de los paquetes (UDP) sobre IP. Se ha determinado experimentalmente que una VPN basada en SSL no tiene influencia negativa sobre la latencia, la varianza (jitter) y la pérdida de paquetes. Por ejemplo, para el caso de emplear codec G711 y redes VPN comprimidas es posible ganar hasta un 10% de ancho de banda. El códec empleado y las características de la VPN (encapsulado, compresión, etc) influyen en mayor o menor medida en este aspecto.

El empleo de protocolo SRTP para transportar el flujo multimedia encriptado y el uso SIP sobre TLS para la señalización permite establecer otro esquema de seguridad de la red prescindiendo del uso de VPNs basadas en SSL. En el futuro se planea migrar el esquema de seguridad actual a uno que soporte estos los mecanismos anteriores. (A partir de la versión 1.8 de Asterisk se incluye soporte para estos protocolos de manera nativa). Esto permitiría evitar el intercambio de tráfico a través de del nodo central de la VPN ubicado en el Datacenter de ARIU. También contribuirá a disminuir la carga del servidor central.

## **5 Rutas y Prefijos de Marcado**

Debido a las dimensiones de algunas instituciones, la diversidad de tecnologías empleadas y el grado de descentralización de sus instalaciones se decidió dejar librado a la decisión de cada una la conformación de su propia plataforma de voz sobre IP y solamente prestar el servicio básico de ruteo. El objetivo central del proyecto plantea resolver la necesidad básica de los usuarios de acceder desde un terminal de telefonía ubicado en una institución, realizando la marcación del prefijo y el número de extensión correspondiente al destinatario a través de un teclado convencional. En un principio se pensó asignar a cada institución un prefijo basado en la propia característica regional empleada por la telefonía fija y móvil a nivel nacional pero esto además de plantear algún grado de confusión, se hace difícil ya que existen instituciones ubicadas en diferentes regiones o compartiendo su zona geográfica. Por lo tanto se pensó en asignar un prefijo independiente de otro sistema de comunicación ya existente. Se optó en asignar a cada institución un prefijo de 3 dígitos.

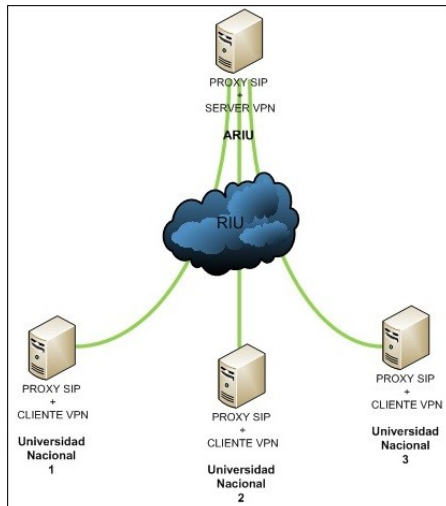
## **5 Servidor Proxy SIP**

En el marco del proyecto, se han estudiado las posibles soluciones de código abierto basadas en SER (Sip Express Router). SER es un desarrollo con licencia GNU GPL (Generic Public License). Se trata de una aplicación que implementa un servidor proxy SIP. Su implantación es muy versátil, permitiendo su instalación tanto en sistemas que posean recursos limitados como también en grandes servidores. Está escrito completamente en C y orientado principalmente a equipos Linux/Unix.

La solución elegida está basada en OpenSER Kamailio y consiste en la implementación de un servidor proxy SIP en el nodo central del Data Center de RIU configurado de manera tal que brinde las siguientes funcionalidades: autenticar las llamadas realizadas por los servidores B2BUA de las instituciones, encaminar las llamadas de acuerdo a prefijos de marcado únicos por institución, mantener un registro de llamadas realizadas y obtener los datos necesarios para la autenticación a través de un servidor de base de datos (DB) basado en MySQL.

## **6 Implementación de Seguridad en la Red de VoIP**

Durante el proceso de señalización de la llamada, el protocolo SIP emplea mensajes en texto plano y durante la transmisión de la voz en tiempo real (RTP), se transmiten tramas UDP conteniendo el audio codificado bajo alguna técnica conocida (G711, GSM, G729, etc) pero sin



**Fig. 3** Esquema de Seguridad de la Red VoIP de ARIU basado en OpenVPN

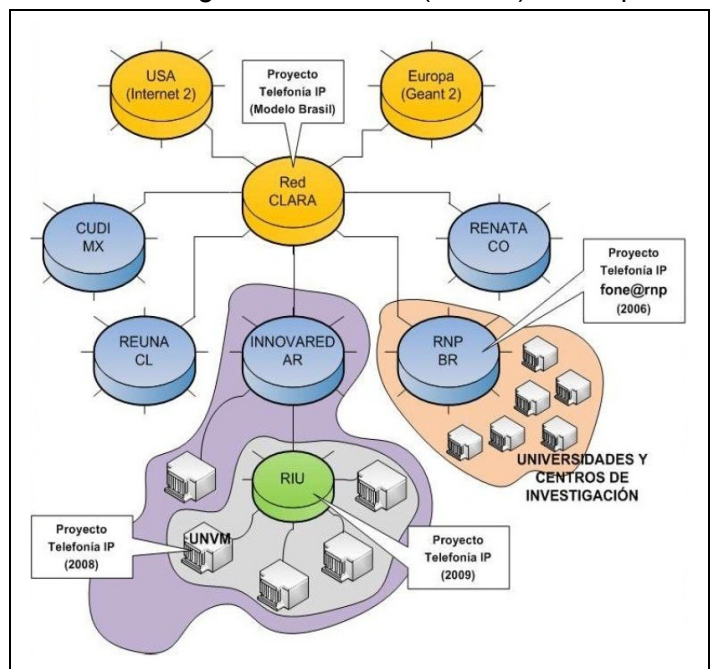
encriptación alguna. Atento a este hecho, y considerando que el aseguramiento de dichos protocolos es posible mediante el uso de algunas técnicas específicas, se consideró que la solución más adecuada es el uso de una red privadas virtuales, para lo cual se analizaron diferentes alternativas y se decidió optar por una basada en SSL (Secure Socket Layer) como es OpenVPN. Una VPN basada en SSL garantiza la privacidad e integridad de datos entre las dos partes.

### 7 Vinculación con otros proyectos: sip.edu y fone@rnp

Existe un proyecto denominado SIP.edu en el ámbito de Internet2. El mismo tiene como objetivo la convergencia las identidades de voz con las identidades de correo electrónico, así como la promoción de los servicios de voz sobre IP que emplean SIP como protocolo dentro del marco de las Universidades. Otro proyecto denominado fone@rnp desarrollado por la Red Nacional de Enseñanza e Investigación de Brasil (R.N.P.) es el que más se aproxima en cuanto a objetivos y arquitectura de red ya que utiliza los mismos elementos de software pero con una dimensión mucho menor.

### 7.3 Grupo de Trabajo en VoIP de Red Clara

El proyecto de la red Clara, llevado a cabo por el Grupo de Trabajo en VoIP (ClaraTec) tiene en sus objetivos puntos en común con el proyecto RIU, los mismos se refieren a: Elaborar un plano de integración entre las redes que ya operan un servicio de VoIP dentro del ámbito de CLARA; Elaborar una recomendación de plataforma básica para el uso de VoIP integrado con Clara y llevar a cabo capacitación para nivelación de conocimientos en VoIP para preparar las NRENS a integrarse a la red VoIP. Este grupo de trabajo a realizado avances en el estudio de alternativas de software libre disponibles pero aún no posee un grado significativo de avance en cuanto a la implementación definitiva de alguna solución en este aspecto. Aprovechando que ARIU tiene sus representantes ante la Red Clara y más específicamente en lo que respecta al grupo de trabajo en VoIP de ClaraTec sería interesante establecer con ellos un mayor intercambio de experiencias a los fines realizar la convergencia de alguno de nuestros proyectos como se sugiere a través de la figura 8.



**Fig 8.** Red de Voz Sobre IP en Redes Avanzadas de Latinoamérica

### 8 Estadísticas

En la actualidad la red está integrada por 25 instituciones; 22 Universidades Nacionales, el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET), el Consorcio de Sistemas de Información Universitaria (SIU) y el Centro de Operación de la Red de Interconexión Universitaria (NOC de ARIU). Todas ellas aportan al sistema un total aproximado de

2800 internos. La evolución en la incorporación de dichas instituciones a lo largo del tiempo se representa en la figura 4. Actualmente, de estas 25 instituciones 15 se conectan a través de los enlaces provistos por la Red de Interconexión Universitaria y 10 a través de otros proveedores de Internet (I.S.P.). (Ver figura 5) El grado de integración de dichas instituciones varía y actualmente se trabaja en cada una de ellas para incorporar la totalidad de sus usuarios cuya cifra asciende a más de diez mil (10000) de acuerdo a relevamientos preliminares. (Ver figura 6)

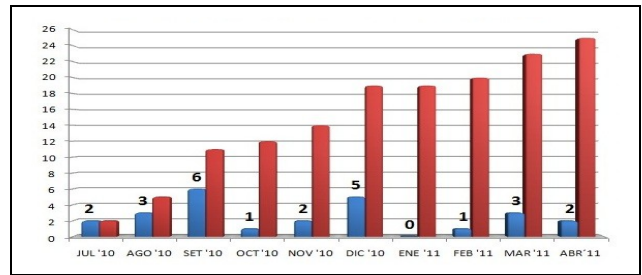


Fig 4. Evolución de las incorporaciones a la red de voz sobre IP de ARIU (Período Julio 2010 – Abril 2011)

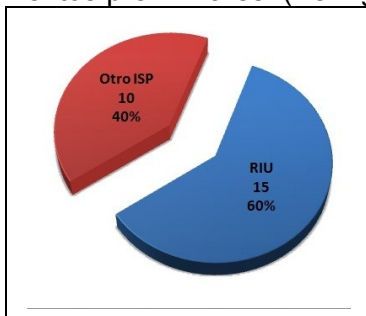


Fig 5. Tipos de enlaces usados en la Red VoIP (A través de RIU o un I.S.P. - Abril 2011)

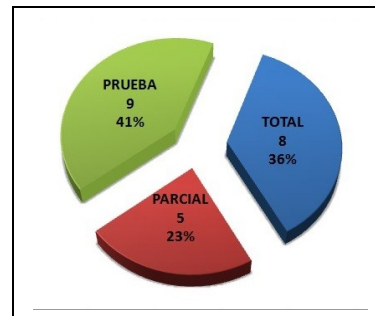


Fig 6. Grado de Integración a la Red de voz sobre IP de ARIU. (Abril 2011)

El ancho de banda de cada enlace de datos que provee la ARIU es de 2 Mbps. Ese ancho de banda se encuentra reservado hasta un 40% (819 Kbps) empleando encolamiento de alta prioridad y baja latencia (LLQ: Low-latency Queuing). Con esto y el empleo de codecs si compresión (G711) es posible establecer hasta 10 comunicaciones simultáneas por institución con elevado índice de calidad. Empleando codec G729A se llega a alcanzar hasta 25 canales de audio simultáneos. Para el caso de comunicaciones que emplean video con una tasa de 384 Kbps (bitrate) la capacidad aproximada es de dos canales de video simultáneos y la calidad depende del codec a emplear (H261/H263/H263+ o H264) y la tasa de fotogramas. (framerate).

## 9 Conclusiones

Este proyecto ha posibilitado la integración de las diferentes plataformas de telefonía sin imponer restricciones a la propia red de comunicaciones de las instituciones miembros. El éxito del mismo se fundamenta en el trabajo mancomunado de sus equipos técnicos. Los coordinadores de este proyecto han trabajado en la capacitación de los equipos técnicos y la concientización de las autoridades sobre la importancia del tema. El actual escenario tecnológico de las comunicaciones converge cada vez más hacia las TICs. Por lo tanto, para evitar problemas futuros en la gestión de estos recursos, es necesario anticiparse a los cambios con suficiente antelación. Es importante continuar trabajando por la integración de las comunicaciones a fin de contar con una red de telefonía eficiente y sostenible en el tiempo.

## 10 Referencias

1. Martín, Mariano J., "Servicio de encaminamiento de llamadas VoIP/SIP en UU. NN." (2009), [http://www.dirinfo.unvm.edu.ar/archivo/SER\\_LACNICXII.pdf](http://www.dirinfo.unvm.edu.ar/archivo/SER_LACNICXII.pdf)
2. Voznak, Miroslav, "CESNET Technical Report - Impact of Network Security on Speech Quality", (2008) <http://www.cesnet.cz/doc/techzpravy/2008/impact-of-network-security-on-speech-quality/impact-of-network-security-on-speech-quality.pdf>
3. Gast, Matthew, "Strangely, SSL VPNs can help VoIP call quality" (2006) [http://www.oreillynet.com/etel/blog/2006/03/strangely\\_ssl\\_vpns\\_can\\_help\\_vo.html](http://www.oreillynet.com/etel/blog/2006/03/strangely_ssl_vpns_can_help_vo.html)
4. Snyder, Joel, "Test shows VoIP call quality can improve with SSL VPN links" <http://www.networkworld.com/reviews/2006/022006-ssl-voip-test.html>