

Evaluación de la Interfaz NorthBound de Madeira

Pablo Arozarena, David Ortega, Raquel Toribio

Telefónica I+D, Madrid, España

pabloa@tid.es, doa@tid.es, raquelt@tid.es

Abstract — El proyecto Madeira investiga la aplicación de tecnologías peer-to-peer a la gestión de red distribuida, permitiendo la auto-configuración y la auto-reparación de la red mediante la ejecución autónoma de tareas de gestión por parte de los propios elementos de red. Para facilitar la comunicación con sistemas externos, Madeira incorpora la Interfaz “NorthBound” (NBI), basada en servicios web. El NBI ha sido evaluado por medio de pruebas específicas, verificándose con éxito todos sus requisitos funcionales y sus principales características no funcionales tales como la fiabilidad, la integridad, la seguridad y la escalabilidad.

I. INTRODUCCIÓN

A. Descripción general de Madeira

El proyecto Madeira [1] investiga cómo realizar tareas de gestión mediante un sistema totalmente distribuido, basado en principios de gestión autónoma y tecnologías “peer-to-peer” (P2P). Además, esta red auto-gestionada ofrece la posibilidad de ser controlada externamente para que los operadores de red puedan integrarla con otros Sistemas de Soporte a la Operación (OSSs) externos. Con tal fin, Madeira presenta la interfaz NBI (por NorthBound Interface).

La gestión de red propuesta por Madeira se realiza de forma distribuida gracias a la colaboración entre los distintos elementos de red (NE por Network Equipment). Cada NE contiene un componente de gestión de red adaptable (AMC por Adaptive Management Component), que se comunica con otros AMCs a través de una interfaz P2P. Para poder escalar esta solución a redes de un número elevado de NEs, los nodos de Madeira se organizan automáticamente en una jerarquía lógica de grupos [2], como se muestra en el ejemplo de la Figura 1.

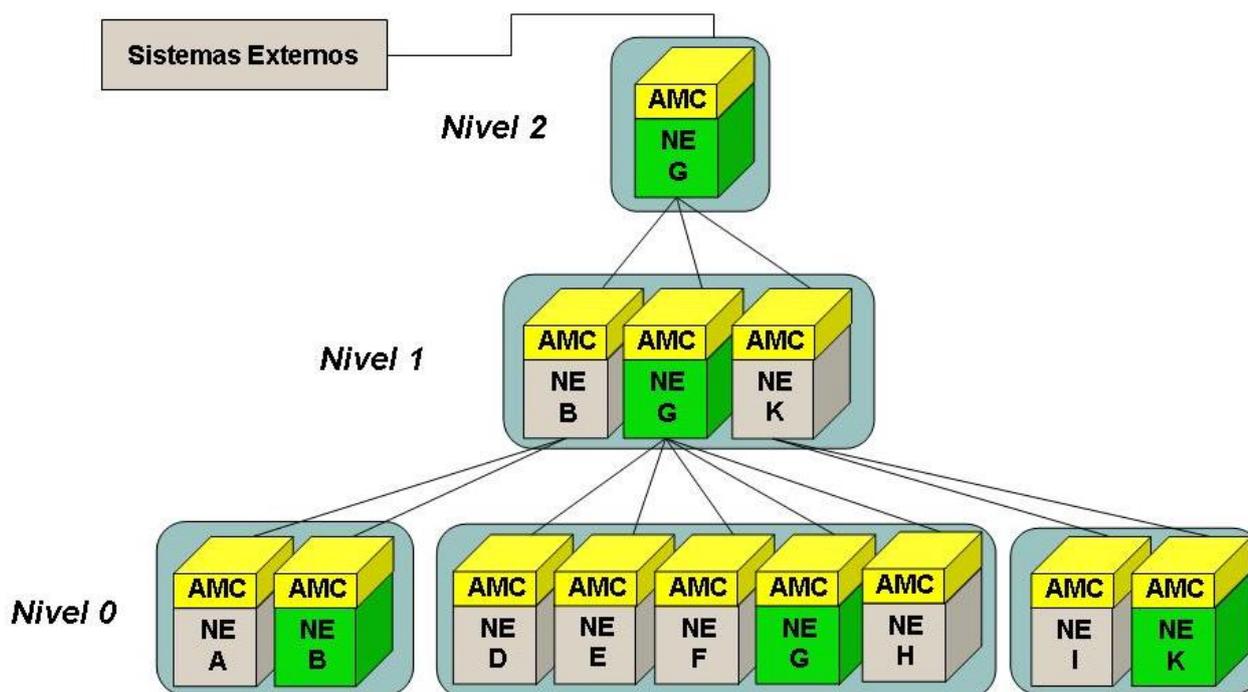


Figura 1: Topología de red

En la Figura 2 se puede ver un esquema de la arquitectura interna de gestión de un NE de la red de Madeira y los diversos niveles que la componen. El nivel de plataforma proporciona, entre otros, servicios de conectividad entre nodos y funciones para arrancar/parar módulos del AMC. Por otra parte, los servicios específicos de AMC proporcionan funciones de gestión comunes a las distintas aplicaciones. Entre estos servicios cabe destacar un gestor de políticas así como adaptadores con la capa de gestión propia de cada NE. Apoyándose en estos dos niveles, se pueden desarrollar diferentes aplicaciones de gestión distribuidas. En el curso del proyecto se han abordado las de gestión de configuración (CM por Configuration Management) y de fallos (FM por Fault Management), si bien la arquitectura está abierta a incluir otras.

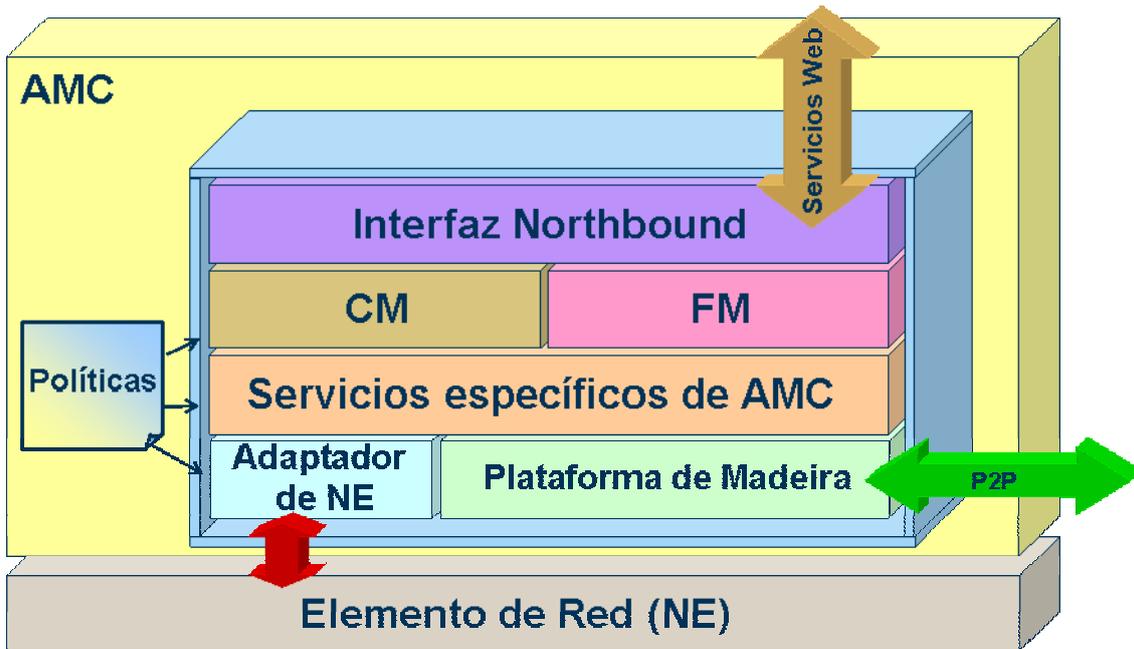


Figura 2 Arquitectura de gestión de un elemento de red

La funcionalidad de Configuración en Madeira se encarga de organizar automáticamente los elementos de red en grupos, creando así una topología lógica. En esta topología, cada grupo elige un AMC como “head” ó representante, que será el responsable de coordinar las tareas de gestión internas del grupo y de divulgar hacia el exterior su topología. Los representantes de un grupo en el nivel $n - 1$ se convierten automáticamente en miembros de otro grupo en el nivel n . Este proceso continúa de forma iterativa hasta que se alcanza el grupo de más alto nivel, constituido por un sólo nodo, denominado TLCH (por Top Level Cluster Head). El TLCH tiene un papel especial, que es el de dar soporte a la comunicación con sistemas externos.

Basándose en la topología lógica existente, la funcionalidad de Fallos en Madeira realiza el procesamiento y correlación de alarmas de forma iterativa en cada uno de los nodos y grupos de gestión. Únicamente se propagan hacia arriba en la jerarquía de grupos las alarmas relevantes [3] reduciéndose así la sobrecarga de comunicación y proceso. Finalmente, se informa a los sistemas externos de la causa raíz del problema mediante el envío de mensajes de notificación.

Por último, el componente NBI se encarga de implementar la interfaz de gestión de la red Madeira con sistemas externos. Por medio de esta interfaz los sistemas externos pueden subscribirse a notificaciones y ejecutar una serie de actuaciones en Madeira tales como modificar políticas de gestión y consultar la topología. Debido a la estructura jerárquica de Madeira, el TLCH es el único nodo con una visión completa del sistema y por ello se arranca en él el NBI.

B. Uso de Servicios Web en la Gestión

Actualmente, la tecnología de Servicios Web (WS) se considera una buena elección para la implementación de interfaces de gestión ya que facilita la interoperabilidad y el bajo acoplamiento entre sistemas y se basa en estándares de Internet ampliamente difundidos [4]. Por ello se ha decidido utilizar esta tecnología para el desarrollo del NBI.

En particular, OASIS ha publicado un conjunto de especificaciones para la aplicación de WS en la gestión de red. Una de ellas es el estándar de Notificaciones de WS (WSN) [5], que permite el envío de eventos asíncronos mediante un mecanismo de publicación/suscripción. El NBI se ha desarrollado a partir de la plataforma Publish de Apache [6], que es una implementación de código abierto de dicho estándar.

II. DESCRIPCIÓN DE LA INTERFAZ NORTHBOUND

A. Funcionalidad del NBI

Las principales funcionalidades que aporta el NBI son las siguientes:

- 1) Notificación de eventos y alarmas hacia sistemas externos suscritos al NBI.
- 2) Descubrimiento automático del sistema Madeira por sistemas externos: potencialmente, todos los nodos de Madeira pueden convertirse en TLCH y adquirir el papel del NBI. Por ello, Madeira ofrece al OSS un mecanismo para

descubrir dinámicamente al NBI, a través del uso de un repositorio UDDI (por Universal Description, Discovery and Integration) externo.

- 3) Publicación de topología: los sistemas externos pueden obtener información completa sobre la topología de la red de Madeira: elementos de red, enlaces, interfaces, grupos, etc.
- 4) Manejo de políticas: el NBI admite la introducción y recuperación de las políticas de gestión que gobiernan el comportamiento de Madeira.
- 5) Sincronización de alarmas: un sistema externo puede solicitar la sincronización entre la información de estado que él posee con la del estado real de Madeira. Ante esta solicitud, el NBI reenvía todas las alarmas activas.
- 6) Comandos de configuración: los sistemas externos pueden ejecutar, mediante la invocación de los servicios web correspondiente del NBI, acciones de gestión tales como deshabilitar una estación base.

B. Comunicaciones

En la comunicación entre Madeira y OSSs externos se pueden distinguir tres tipos de interacciones: descubrimiento del NBI, mensajes de solicitud/respuesta (por ejemplo, solicitud de un OSS para configurar un NE de Madeira) y notificación de eventos a los OSSs. Estos tres tipos de comunicaciones aparecen reflejados en la Figura 3.

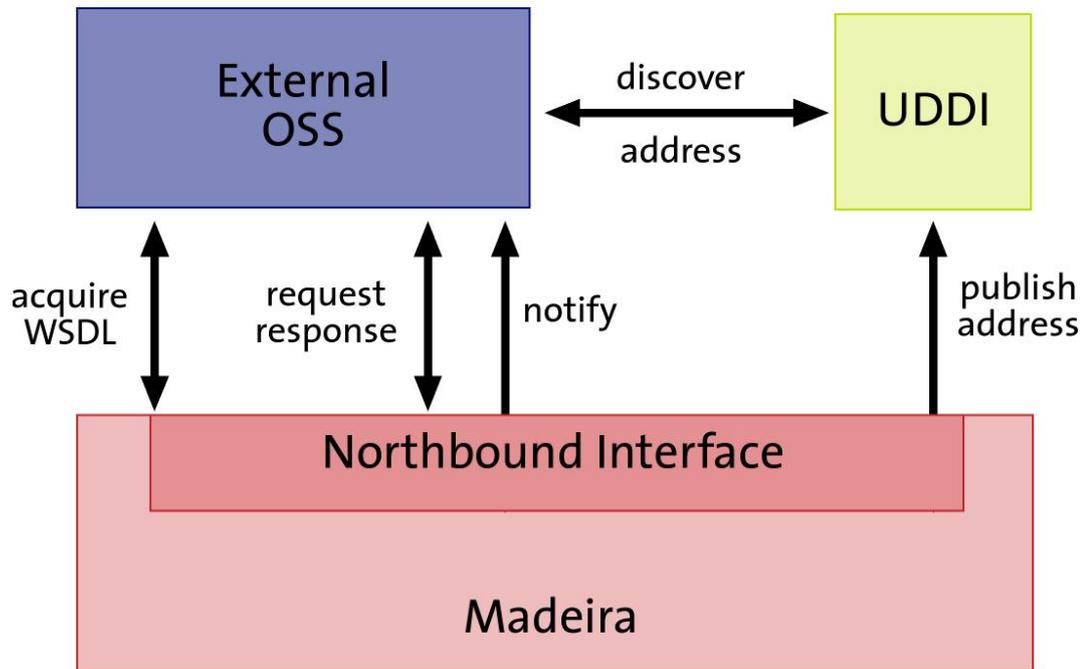


Figura 3: Comunicaciones externas del NBI

Por una parte, durante el proceso de arranque o bien después de una reconfiguración, el NBI publica su dirección en un registro UDDI, el cual es consultado por los OSSs para descubrirla.

Por otra, las solicitudes iniciadas en los OSSs son tratadas por el NBI y encaminadas al componente de Madeira apropiado. A continuación, las respuestas proporcionadas por dicho componente son convertidas por el NBI en mensajes de WS y devueltas al OSS que realizó la petición.

Por último, el envío de notificaciones hacia los OSSs se realiza en modo publicación/suscripción. El NBI publica los temas (ó “topics”) a los que puede suscribirse un cliente y los OSSs se subscriben a los que les interesan. Una vez suscritos, los OSSs comenzarán a ser notificados de todos los eventos relacionados con ese tema. En Madeira se han definido dos tipos de temas: los eventos de CM, atribuibles a los cambios de topología, y las alarmas generadas por FM.

Cabe destacar también que en Madeira existen diversos modos de comunicación interna: notificaciones para comunicaciones asíncronas y eventos inesperados, el puerto P2P para comunicaciones fiables entre AMCs de distintos nodos y llamadas a métodos para las comunicaciones entre componentes de un mismo AMC. Basándose en lo anterior, las aplicaciones FM y CM envían eventos al NBI usando el mecanismo de notificaciones de Madeira, mientras que el NBI invoca los métodos de AMC correspondientes en los componentes adecuados (FM, CM, gestor de políticas...) para ejecutar comandos, introducir políticas, etc. En función del método ejecutado y del componente invocado, es posible que éste haga uso del puerto P2P para recopilar la información solicitada por el NBI antes de devolvérsela como respuesta.

III. EVALUACIÓN DEL NBI

La evaluación de Madeira se ha realizado en dos fases. En la primera se desplegó el sistema sobre una plataforma real de pruebas, compuesta por un grupo de entre 5 y 6 nodos, realizándose con éxito un conjunto completo de pruebas y experimentos definidos en el marco del proyecto con la finalidad de validar sus requisitos funcionales. La segunda fase se ha centrado en el análisis de requisitos no funcionales, para lo cual se realizaron diversas pruebas y, sobre todo, simulaciones diseñadas específicamente para los distintos casos a verificar. A continuación se resumen los resultados obtenidos.

- 1) **Interoperabilidad.** El principal objetivo del NBI es permitir el acceso a Madeira desde los OSSs del operador de la red. Dado que estos sistemas pueden ser muy diversos y utilizar diferentes tecnologías, una característica fundamental del NBI es que facilite la interoperabilidad. Gracias a que su implementación está basada en Java y en estándares como WS, el NBI puede ser ejecutado en ordenadores con distintos sistemas operativos y sobre distintas plataformas hardware y software. Además, múltiples OSSs, también ejecutándose en diversos sistemas operativos y plataformas, pueden conectarse y adquirir datos del NBI. La verificación experimental de estos aspectos ha demostrado un alto grado de interoperabilidad.
- 2) **Robustez.** La interfaz de gestión proporcionada por Madeira debe ser capaz de reaccionar correctamente a circunstancias adversas como fallos de conectividad e indisponibilidad de nodos. Además, el NBI se puede parar debido a diversas causas como fallos o cambios en la jerarquía de grupos. Bajo estas circunstancias, la plataforma de Madeira lleva a cabo una reconfiguración de la topología lógica y elige un nuevo TLCH que arranca de forma automática una nueva instancia del NBI. Los OSSs, por su parte, detectan automáticamente esta situación a través de un mecanismo de sondeo proporcionado por el NBI y leen la nueva dirección del NBI publicada en el registro UDDI. A continuación, se reconectan al nuevo NBI y sincronizan la información de estado, asegurando la integridad de sus datos.
- 3) **Fiabilidad.** Un requisito fundamental para operar adecuadamente una red es la precisión de la información de gestión disponible. Después de realizar pruebas de carga en las cuales el NBI tenía que procesar una tasa elevada y sostenida de alarmas, cuya generación se realizaba automáticamente dentro del nodo en el que corría el NBI, se encontraron algunos problemas importantes originados por limitaciones de la implementación hecha por Pubsubscribe del estándar WS-Notification. Los dos principales tipos de problemas que se han encontrado, en ambos casos en situaciones de alto tráfico, son la pérdida ocasional de alarmas y la entrega de eventos fuera de secuencia. En el primer caso, el problema se debía a la ausencia de mecanismos de reintento en caso de fallos en el envío de una alarma y en el segundo a condiciones de carrera provocadas por la naturaleza multi-hilo de Pubsubscribe. Para solucionarlos, se han implementado y verificado en Pubsubscribe mejoras tales como el encolado de alarmas y su posterior reenvío en caso de error, así como mecanismos para asegurar la entrega ordenada de eventos. A consecuencia de ello, ha sido necesario limitar el número de hilos de la herramienta Pubsubscribe a uno por cliente y tema, de forma que se maximizan las prestaciones al tiempo que se consigue mantener el orden relativo de eventos de cada tema.
- 4) **Seguridad.** Madeira incluye una solución de seguridad basada en una autoridad de certificación distribuida (dCA por Distributed Certification Authority), con puntos de distribución de listas de revocación de certificados (CRL por Certificate Revocation List) y un protocolo de acusación cooperativa [7]. El NBI es crítico desde el punto de vista de la seguridad y debe incorporar los mecanismos adecuados para evitar accesos indeseados. Por lo tanto, basándose en la solución de seguridad mencionada, el NBI únicamente permite acceder a la red de Madeira a aquellos sistemas externos que hayan sido debidamente autenticados y autorizados, por el NBI en primera instancia y por la dCA en segunda, mediante un certificado válido. En función del nivel de autorización de que dispongan, los sistemas externos podrán acceder a un abanico más o menos amplio de servicios, desde simples operaciones de consulta a capacidades de administración sobre toda la red. Además, el NBI incorpora un sistema de detección y prevención de intrusiones que le permite detectar ataques y reaccionar a ellos revocando credenciales de seguridad del sistema atacante y/o generando alarmas de seguridad.
- 5) **Escalabilidad.** El NBI debe ser capaz de escalar a tamaños de red y tráfico de alarmas elevados para poder ser utilizado en entornos de operación. Por lo tanto, se ha realizado un análisis detallado de sus prestaciones y de los problemas de escalabilidad que presenta. Los principales puntos analizados son la visualización de la topología y el procesamiento de elevadas tasas de alarmas. Las métricas analizadas incluyen medidas de tiempos de respuesta, de consumos de CPU, de ancho de banda, de memoria, etc.

El entorno de pruebas en que se ha realizado el análisis de escalabilidad es el siguiente:

- CPU: Intel Pentium D 2.8 Ghz CPU con 1024 KB de cache
- 1002 MB de memoria RAM
- Disco duro de 80 GB
- Interfaz de red de 100Mbit/segundo.
- Sistema operativo: Linux – Ubuntu
- Configuración software: NBI aislado conectado a generadores de alarma y de topología.

Respecto a la publicación de topología hacia sistemas externos, las conclusiones principales del análisis de escalabilidad del NBI muestran que la topología lógica tiene un impacto enorme sobre el rendimiento. Así, el

aumento del número de niveles en la jerarquía reduce seriamente el rendimiento. Para las topologías evaluadas, los mejores resultados de rendimiento se han obtenido con un número de niveles igual a 2, encontrándose resultados aceptables hasta 4-5 niveles (ver Figura 4). Estos resultados se justifican en que, a igual número de nodos, el incremento del número de niveles de la topología provoca un aumento en el tamaño del mensaje XML que debe procesar el NBI para enviar esta información hacia los sistemas externos.

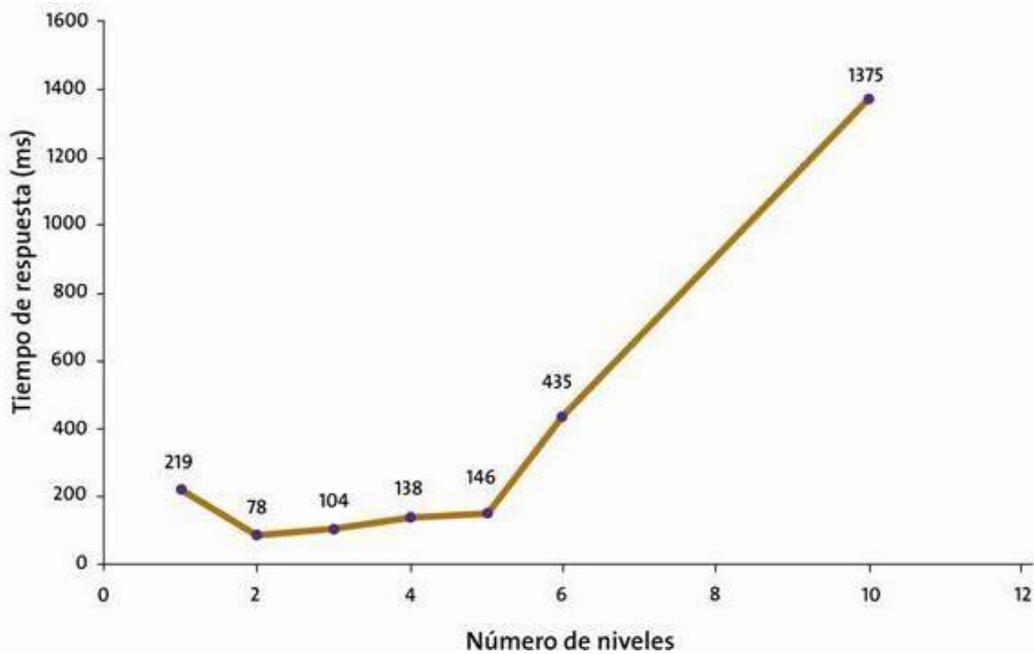


Figura 4: Tiempo de respuesta en función de la topología, para una red de unos 1.000 nodos

Otro resultado importante es que existe una limitación en el tamaño máximo de la red que el NBI es capaz de manejar. En nuestra configuración hardware, este límite son 68.000 nodos para una topología de red plana formada por un único grupo. Pero este límite depende en gran medida de la topología lógica y disminuye bruscamente al aumentar el número de grupos. Por ejemplo, si el número máximo de nodos en un grupo es de 2, el número máximo de niveles en la jerarquía que el NBI puede manejar es de 13, con un número total de nodos igual a 8.192. Por otra parte, se ha observado que el rendimiento del NBI es muy ineficiente para tamaños de grupo por debajo de 10 nodos.

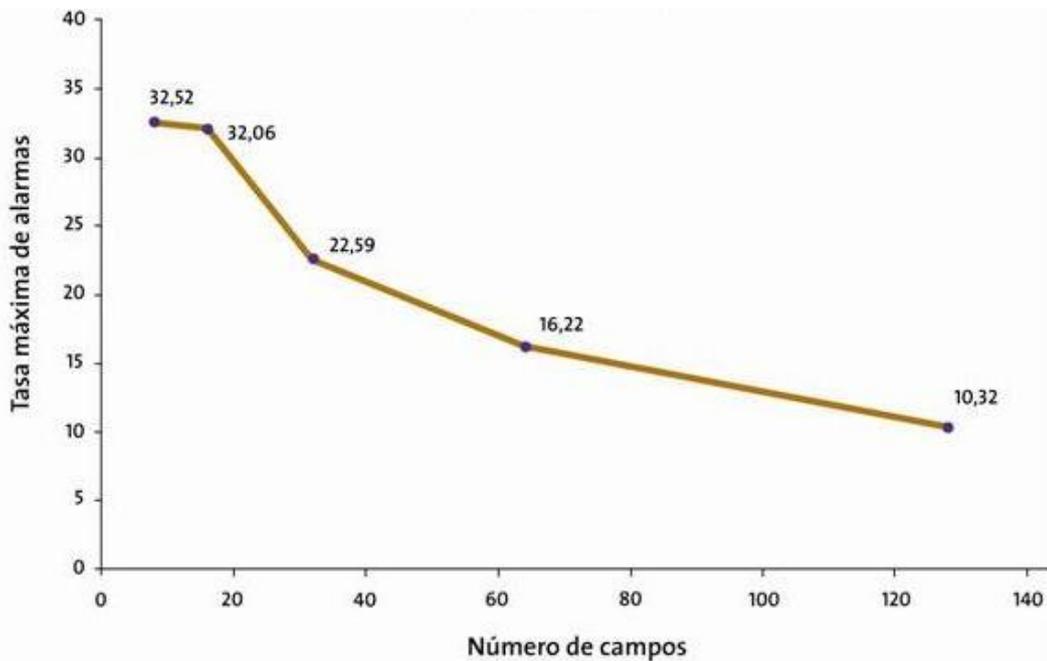


Figura 5: Tasa máxima de alarmas en función del número de campos de la alarma, para una alarma de 2.048 bytes

El manejo de notificaciones también presenta importantes problemas de escalabilidad. Así se ha visto que alarmas con distinta granularidad, entendida como la combinación entre el número de campos y el tamaño de los mismos, implican distintos tiempos de retardo y, por tanto, distintas tasas máximas de alarmas. Es decir, para un determinado tamaño de la carga útil transportada por una alarma, la forma en que ésta se codifique afecta de forma decisiva a las prestaciones del NBI, disminuyendo la tasa máxima de alarmas a medida que aumenta el número de campos. Este aspecto debe ser tenido en cuenta a la hora de especificar los campos de las alarmas que son visibles para el NBI, pudiendo codificarse los demás a nivel de aplicación de forma que no afecten a las prestaciones de la interfaz. Como en el caso de la publicación de topología, las causas de este comportamiento radican en la mayor complejidad y tamaño del mensaje XML a medida que aumentan el número de campos de la alarma. La Figura 5 muestra un ejemplo en el que se han realizado medidas con distintas combinaciones de número de campos y tamaño de los mismos para una carga útil de alarma de 2.048 bytes.

Una importante conclusión obtenida del análisis de las pruebas ejecutadas es que el principal cuello de botella en el NBI es el analizador sintáctico (o “parser”) contenido en la plataforma de Pubscribe.

- 6) **Disponibilidad.** Si el nodo dónde se ejecuta el NBI falla o deja de estar accesible, la red de Madeira se reconfigura automáticamente, eligiendo un nuevo TLCH en el que se arranca el NBI. El mayor problema encontrado en este escenario es el elevado tiempo que tarda en completarse el proceso, que en las pruebas realizadas puede oscilar entre 40 segundos y varios minutos.

Otro problema importante es la pérdida de estado o de información de sesión que se produce cuándo el NBI cambia a una nueva ubicación, lo cual obliga a los OSSs a solicitar de nuevo todos los comandos previos para garantizar que el servicio alcance el estado correcto.

Además, un punto débil de Madeira es que cualquier elemento de la red puede ser elegido TLCH, independientemente de sus capacidades. Esto puede provocar la sobrecarga del nodo elegido, ya que debe asumir la tarea adicional de ejecutar el NBI.

IV. POSIBLES MEJORAS

En función de la evaluación realizada, se han propuesto las siguientes mejoras para el NBI:

- 1) **Selección inteligente del nodo NBI.** Se debería rediseñar el algoritmo de agrupamiento para que Madeira tenga en cuenta las capacidades y recursos de que dispone cada nodo a la hora de elegir el TLCH, ya que en este nodo se arrancará el NBI. En la medida de lo posible, y sin reducir excesivamente la flexibilidad del algoritmo, se deberían priorizar los nodos dotados de mayores recursos de computación.
- 2) **NBI distribuido.** Sería conveniente flexibilizar la arquitectura de Madeira para que la funcionalidad del NBI pudiera repartirse entre varios nodos que compartieran información sobre el estado de las sesiones. Con esta nueva arquitectura se reduciría el tiempo de restablecimiento del servicio gracias a la redundancia de la información de estado. Además, se aumentaría la escalabilidad del NBI debido a la posibilidad de balancear la carga asociada a este servicio entre varios nodos.
- 3) **Uso de un parser XML más eficiente.** Se ha comprobado que una de las principales limitaciones presentadas por el NBI es el parser integrado en la plataforma Pubscribe. Por lo tanto, la sustitución de este parser por otro más eficiente podría suponer una mejora considerable en las prestaciones del NBI, si bien requeriría modificaciones considerables en Pubscribe.
- 4) **Migración a MUSE [8].** Cuando se diseñó el NBI, Apache Pubscribe 1.1 era la única implementación disponible de WSN. Actualmente, esta implementación ha quedado obsoleta, habiéndose incorporado su funcionalidad dentro del proyecto MUSE. Por tanto, sería conveniente adaptar la implementación del NBI a MUSE, incorporando todos los cambios realizados para mejorar la fiabilidad de Pubscribe. De esta forma, el NBI se beneficiaría de todas las mejoras realizadas en Muse, facilitándose también su mantenimiento y evolución futura.

V. CONCLUSIÓN

El NBI ha sido implementado usando tecnología WS y ha sido validado a través de pruebas y experimentos que han demostrado la viabilidad de la solución. Todos los requisitos funcionales se han verificado con éxito, y se ha dedicado un gran esfuerzo a evaluar y mejorar sus características no funcionales.

Cabe destacar que una versión adaptada del NBI de Madeira se ha implementado y está funcionando actualmente en producción en GEISER (Gestión Integral de Servicios de la Red de Transporte de Telefónica) para propagar a otros sistemas de gestión información de alarmas. Esta adaptación del NBI es capaz de soportar un tráfico medio de aproximadamente 150.000 eventos de alarma al día.

REFERENCIAS

- [1] P. Arozarena, M. Frints, S. Collins, L. Fallon, M. Zach, J. Serrat y J.Nielsen, "Madeira: A peer-to-peer approach to network management", Wireless World Research Forum, Abril 2006, Shanghai, China.
- [2] L. Fallon, D. Parker, M. Zach, M. Leitner y S. Collins, "Self-Forming Network Management Topologies in the Madeira Management System", Autonomous Infrastructure, Management and Security (AIMS) International Conference, Junio 2007, Oslo, Noruega.
- [3] P. Leitner, S. Collins, C. Fahy, M. Zach y M. Leitner, "Fault Management based on peer-to-peer paradigms", 10th IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Management, Mayo 2007, Munich, Alemania.
- [4] J. Schönwälder, A. Pras y J.P. Martin-Flatin, "On the future of Internet Management Technologies", IEEE Communications Magazine, Vol. 41, No. 10, Octubre 2003.
- [5] OASIS Web Services Notification (WSN) v1.3, Octubre 2006.
- [6] Apache Web Services Project (<http://ws.apache.org>).
- [7] R. Marín, J. Vivero, P. Leitner, A. Neppach, M. Zach, D. Ortega, B. Baesjou y P. Arozarena, "Securing the Madeira Network Management System", International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks, Septiembre 2007, Split - Dubrovnik, Croacia.
- [8] Apache Muse Project (<http://ws.apache.org/muse/>).