

◆ Virginia Martín-Rubio Pascual, Antonio Fuentes Bermejo

Resumen

Hoy en día, con la aparición de multitud de servicios ofrecidos sobre la infraestructura de Internet, las tecnologías de alta disponibilidad de servicios están adquiriendo mucha importancia ya que son capaces de garantizar, a través de distintos métodos, la continuidad de los servicios ofrecidos. Es por esto por lo que las empresas que ofrecen servicios críticos a terceros, como es el caso de RedIRIS y el gran número de importantes instituciones afiliadas a ella, se encuentran con la necesidad de incorporar estas tecnologías en sus infraestructuras.

En este artículo se describe el proceso de implantación de un sistema de alta disponibilidad de servicios en RedIRIS, abordando las fases de estudio tecnológico, diseño e implantación.

Palabras clave: RedIRIS, Alta disponibilidad, balanceadores de tráfico, F5.

Abstract

Nowadays, with the appearance of multiple services supported by Internet's infrastructure, technologies that provide high-availability services are becoming of great importance. The reason is the continuity of the provided services, which is guaranteed through different methods. Thus, companies that offer critical services to third parties (as in the case of RedIRIS and its numerous affiliated institutions) are incorporating these technologies to their infrastructure.

This article describes the deployment of a system with high-availability services in RedIRIS, including an exhaustive research on the high-availability technologies, a theoretical design of the system, and its installation.

Keywords: RedIRIS, High availability, traffic load balancing, F5.

1. Introducción

Internet, al igual que en su día la telefonía básica (fija) y móvil, se ha convertido en un servicio utilizado por millones de personas en todo el mundo, que lo han introducido en su vida cotidiana como una herramienta de uso imprescindible. En muchos sectores, tanto a nivel empresarial como a nivel particular, los servicios que se ofrecen sobre la infraestructura de Internet crecen en criticidad, y por tanto, el nivel de disponibilidad que se requiere de ellos es altísimo. Como consecuencia de esto, empresas comerciales, instituciones académicas y en general, cualquier organización que preste servicios interactivos sobre Internet, están implementando tecnologías que aseguren la continuidad y disponibilidad de los servicios.

RedIRIS [8], la Gran Instalación Telemática del Plan Nacional de I+D+i creada para potenciar los resultados de la investigación española tiene como misión ofrecer servicios avanzados de comunicaciones y de alto nivel a la comunidad académica y científica. La mejora significativa en la instrumentación científica y la evolución de la forma de hacer investigación basada en tecnologías de la información ha aumentado el nivel de criticidad de la red y los servicios que RedIRIS ofrece. Con el objeto de satisfacer estos requisitos de continuidad y disponibilidad, RedIRIS necesita continuamente aumentar el nivel de redundancia y tolerancia a fallos de su infraestructura.

Las interrupciones de servicio más habituales suelen producirse debido a:

- 1) Fallos hardware. A pesar de que el tiempo medio entre fallos es muy alto y no suelen producirse con frecuencia, puede suceder un fallo en un dispositivo que provoque una pérdida de servicio.
- 2) Actualización del software y/o del sistema operativo. En la mayoría de los casos, las actualizaciones de software conllevan una parada del servicio considerable.

◆
En este artículo se describe el proceso de implantación de un sistema de alta disponibilidad de servicios en RedIRIS

◆
RedIRIS necesita continuamente aumentar el nivel de redundancia y tolerancia a fallos de su infraestructura



- 3) Picos de demanda de un servicio. En ocasiones, se producen picos de demanda en ciertos servicios que pueden llegar a provocar una denegación de dicho servicio, debido a la incapacidad de asumir un número puntual de peticiones.

El objetivo de este artículo es el diseño e implementación de una arquitectura de alta disponibilidad y balanceo de tráfico en RedIRIS que evite las interrupciones de servicio por los problemas anteriormente descritos. Para ello, comenzaremos realizando un estudio de las diferentes alternativas de alta disponibilidad actualmente existentes, para su posterior evaluación y análisis de cual entre éstas se adapta mejor a una integración en RedIRIS. El punto 4 describirá la arquitectura de la opción elegida, y en el punto 5 se describirán casos de uso y resultados de la evaluación en un entorno de laboratorio real que conducirá a describir las conclusiones y el trabajo futuro.

El DNS Round Robin se caracteriza principalmente por su sencillez ya que no necesita el uso de ningún hardware ni software adicional

2. Tecnologías de alta disponibilidad

A continuación se abordará el estudio de las diferentes alternativas que permiten la implantación de sistemas de alta disponibilidad de servicios, analizándose el estado del arte en este ámbito [2]. Las técnicas que se han seleccionado para su evaluación son las siguientes:

- DNS Round Robin

El DNS Round Robin [7] es un método de balanceo de tráfico basado en la jerarquía DNS existente. Esta técnica se caracteriza principalmente por su sencillez ya que no necesita el uso de ningún hardware ni software adicional. El servidor DNS se configura para que responda a un dominio con una lista de direcciones IP. El cliente recibe la lista y elige una dirección IP para realizar su petición de servicio, típicamente se trata de la primera dirección que aparece en la lista. Como respuesta a las peticiones posteriores del mismo nombre de dominio, el servidor DNS devuelve la misma lista de direcciones IP pero ordenada de forma distinta, realizando una permutación cíclica de las mismas mediante el algoritmo de Round Robin. De esta forma, se balancean por igual las peticiones entre los servidores disponibles.

La principal ventaja de este método de balanceo de tráfico es que su implementación es muy sencilla y su coste muy reducido. Sin embargo, presenta bastantes desventajas, como por ejemplo el hecho de que el servidor DNS no compruebe la disponibilidad de los servidores cuyas direcciones IP devuelve como respuesta para un determinado dominio.

- Tecnologías de cluster

Los sistemas basados en clusters se implementan con el objetivo de mejorar la disponibilidad de los servicios que se ofrecen. Existen muchas clasificaciones de estos sistemas, pero básicamente podemos clasificarlos en acoplados, en el que todos las máquinas trabajan colaborativamente creando un único computador virtual, y desacoplados en los que cada uno de los computadores trabajan de forma independiente pero disponen de servidores auxiliares que entran en funcionamiento cuando se detecta una caída de los anteriores.

Independientemente de la clasificación, los clusters de alta disponibilidad normalmente están conectados por unas redes privadas que permiten monitorizar el estado de todos los nodos del cluster y disponer de un entorno de almacenamiento distribuido compartido. Cada nodo envía continuamente unas señales que reciben el nombre de heartbeats a los demás nodos para indicarles cuál es su estado actual.

Otra de las ventajas ofrecidas por estos sistemas es la capacidad de aumentar el rendimiento de los

Los sistemas basados en clusters se implementan con el objetivo de mejorar la disponibilidad de los servicios que se ofrecen

servicios ofrecidos, ya que el conjunto de máquinas que constituyen el cluster trabajaría en paralelo de forma tal que aumentase la velocidad o la eficiencia del servicio en cuestión.

Aunque simple en concepto, el diseño y la aplicación de un cluster de alta disponibilidad es una tarea compleja que requiere tanto de software específico como de una arquitectura hardware singular. La configuración del software del cluster no es sencilla ya que se deben tener en cuenta muchos factores. En primer lugar el servidor considerado como nodo maestro y el correspondiente al nodo o nodos esclavos deben tener los mismos sistemas operativos y programas instalados. Además tienen que poder acceder a los mismos ficheros de datos, que deben ser actualizados en tiempo real para que no se produzcan errores de concordancia y asegurar la conmutación automática entre ambos nodos en caso de que se produzca un fallo en el hardware de alguno de ellos.

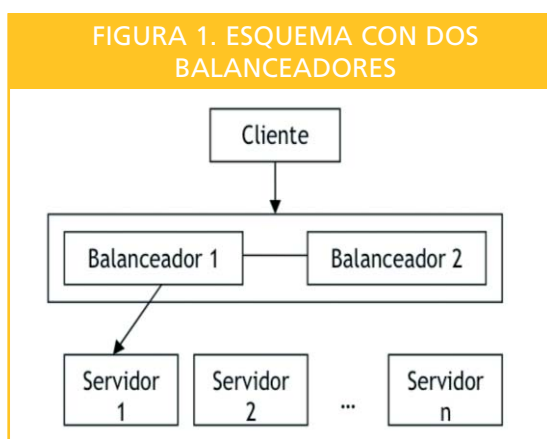
Tecnologías de gestión de tráfico

Un balanceador de tráfico, tal y como muestra la Figura 1, consiste en un equipo que proporciona un servicio de balanceo de tráfico, es decir, distribuye peticiones o flujos de red entre un conjunto de servidores conectados por una red, para equilibrar la carga de trabajo entre ellos. De esta manera, se optimiza el uso de los recursos, su rendimiento o el tiempo de respuesta global del sistema. Igual que ocurría con los sistemas basados en clusters, los basados en balanceadores proporcionan alta disponibilidad al servicio y tolerancia a fallos debidos a la no disponibilidad de los servidores.

La técnica de balanceo de tráfico aporta fiabilidad al sistema gracias a la redundancia que consigue. Adicionalmente, estos sistemas de balanceo de tráfico pueden adaptar sus decisiones de balanceo de tráfico en función de las modificaciones de la carga del sistema, lo que se conoce como balanceo de carga, o incluso del tipo de peticiones que se realicen.

A la hora de diseñar un servicio de balanceo de tráfico, es muy importante seleccionar una política de balanceo adecuada para determinar a qué servidor se envía cada una de las peticiones de servicio recibidas. Estas políticas pueden clasificarse en dos grandes grupos:

- **No adaptativos:** utilizan algoritmos que no se ajustan al estado actual del sistema. Dentro de este grupo se encuentran los algoritmos Random o Round Robin.
- **Adaptativos:** emplean algoritmos que utilizan información en tiempo real que les permite elegir el servidor más adecuado para cada petición en concreto. En este grupo se encuentran algoritmos como Least Loaded o Load Minimum.



El diseño y la aplicación de un cluster de alta disponibilidad es una tarea compleja que requiere tanto de software específico como de una arquitectura hardware singular

La técnica de balanceo de tráfico aporta fiabilidad al sistema gracias a la redundancia que consigue

3. Descripción de la propuesta aceptada

A partir del estudio realizado sobre las distintas tecnologías de alta disponibilidad existentes en el mercado y el impacto que producen cada una de ellas sobre la infraestructura de RedIRIS, se procede a comparar dichas tecnologías para poder tomar la decisión de cuál es la que más se adecua al



escenario actual de RedIRIS. Un resumen con los factores considerados más importantes se muestra en la Tabla 1.

TABLA 1. TABLA COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS TECNOLOGÍAS DE ALTA DISPONIBILIDAD PROPUESTAS

	DNS ROUND ROBIN	CLUSTERS	DISPOSITIVO DE GESTIÓN DE TRÁFICO
NECESIDAD HW ADICIONAL	No	Sí	Sí
NECESIDAD SW ADICIONAL	No	Sí	No
IMPACTO DE INTEGRACIÓN	Leve	Alto	Alto
COSTE	Reducido	Medio	Alto
TASA DE FALLOS	Alta	Baja	Baja
MÉTODO DE MONITORIZACIÓN	Ninguno	Heartbeat	Heartbeat
ESCALABLE A TODOS LOS SERVICIOS	Sí	No	Sí
AUTENTICACIÓN CENTRALIZADA	No	No	Sí
DISTRIBUCIÓN INTELIGENTE DE LA CARGA	No	No	Sí

◆
A pesar de que DNS Round Robin es la tecnología de menor coste e impacto, no sería la adecuada para RedIRIS ya que no proporciona alta disponibilidad a los servicios ofrecidos

◆
La tecnología de alta disponibilidad más adecuada para su implantación en RedIRIS es la basada en dispositivos de gestión de tráfico

La tecnología DNS Round Robin es la que menor impacto produciría en la infraestructura de RedIRIS ya que no necesitaría de ningún software ni dispositivo hardware adicional. Mientras que la basada en clusters necesitaría un software específico en cada uno de los servidores y la basada en dispositivos de gestión de tráfico necesitaría la instalación del propio balanceador.

A pesar de que DNS Round Robin es la tecnología de menor coste e impacto, no sería la adecuada para RedIRIS ya que no proporciona alta disponibilidad a los servicios ofrecidos. Las tecnologías de clustering son demasiado intrusivas en la instalación y por tanto, su integración no es viable. Sin embargo las tecnologías basadas en dispositivos de gestión de tráfico ofrecen más prestaciones ventajosas con su implantación en RedIRIS, como son: la escalabilidad, la autenticación centralizada o la distribución inteligente de la carga.

Por tanto, la tecnología de alta disponibilidad más adecuada para su implantación en RedIRIS es aquella basada en dispositivos de gestión de tráfico.

Actualmente, hay disponibles en el mercado diferentes modelos de balanceadores de tráfico [6]. De las diversas opciones, y tras un análisis exhaustivo y detallado, se han elegido los dispositivos BIG-IP 6400 de F5, más concretamente dos dispositivos en alta disponibilidad LTM o Local Traffic Manager, y cuyas características concretas [3] son resumidas en la Tabla 2.

TABLA 2. TABLA RESUMEN DE LAS VENTAJAS PROPORCIONADAS POR LOS DISPOSITIVOS BIG-IP

VENTAJAS OFRECIDAS	MECANISMOS EMPLEADOS
Disponibilidad continua de aplicaciones críticas	Servidores virtuales y monitorización
Gestión del tráfico en función del tipo de aplicación	Servidores virtuales
Distribución inteligente del tráfico recibido en función del contenido	iRules, persistencia de sesión, monitorización y algoritmos de balanceo de carga.
Optimización del uso de los servidores	Servidores virtuales y algoritmos de balanceo de carga
Optimización del rendimiento de los servidores	Verificación de certificados SSL, persistencia de conexión, <i>OneConnect</i> , <i>HTTP pipeling</i> , <i>Rate Shaping</i>
Aumento de seguridad en la red	Perfiles de autenticación, módulo adicional PAM ocultación de la identidad de los servidores al exterior

Un pool es el conjunto de servidores que da soporte a un determinado servidor virtual

A continuación se realizan algunas definiciones necesarias para entender el funcionamiento de estos dispositivos [5]:

- 1) Un servidor virtual es el encargado de la gestión del tráfico y está representado por una dirección IP y un puerto de servicio concreto.
- 2) Un pool es el conjunto de servidores que da soporte a un determinado servidor virtual.

4. Despliegue de la arquitectura

Para implantar correctamente la tecnología elegida en la infraestructura de RedIRIS, en primer lugar se debe estudiar la arquitectura actual de sus instalaciones, con el objetivo de encontrar la manera más adecuada de conectar los dos LTM BIG-IP 6400 de F5 con el resto de equipos. Dichas conexiones deberán ocasionar el menor impacto posible, sin renunciar a los potenciales beneficios que pueden llegar a obtenerse.

Obviamente, para decidir el lugar de conexión adecuado para los balanceadores, se debe distinguir entre dos tipos de tráfico:

- 1) Tráfico de servicios sometidos a balanceo de carga o alta disponibilidad.
- 2) Tráfico de control o servicio que no va a ser tratado por los balanceadores.

Atendiendo a lo comentado en el párrafo anterior, la ubicación más adecuada para los dispositivos BIG-IP es la que se muestra en la Figura 2, ya que permite que los dos tipos de tráfico comentados anteriormente lleguen a los servidores correspondientes.

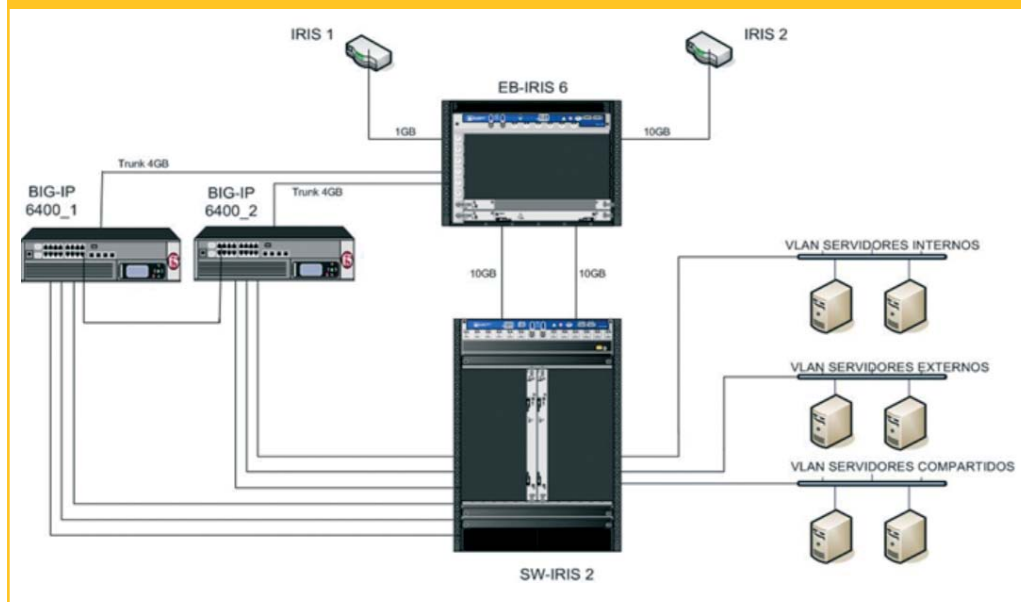
Para decidir el lugar de conexión adecuado para los balanceadores, se debe distinguir entre tráfico de servicios y tráfico de control



La configuración de los dos dispositivos BIG-IP es en modo activo-pasivo

Apache JMeter es una aplicación diseñada para analizar el comportamiento funcional y para medir las prestaciones de un sistema

FIGURA 2. ESQUEMA DE LA ARQUITECTURA DE REDIRIS CON LOS LTM INTEGRADOS.



El router EB-IRIS6 encaminará el tráfico que se quiere balancear, es decir, el que irá dirigido hacia las direcciones IP de los servidores virtuales [4] por la interfaz conectada a los dispositivos BIG-IP. Sin embargo, el tráfico que no se quiere balancear, dirigido directamente a la dirección IP del servidor en cuestión, será encaminado por el router EB-IRIS6 hacia la interfaz conectada con el switch SW-IRIS2 para que éste lo entregue por la interfaz correspondiente a la VLAN a la que pertenece dicho servidor. Por tanto, será necesario que todas las direcciones IP de los servidores virtuales creados en el dispositivo LTM pertenezcan a una misma VLAN para que el router los encamine por la misma interfaz.

La configuración de los dos dispositivos BIG-IP es en modo **activo-pasivo**, es decir, uno de ellos será el encargado de balancear el tráfico mientras que el otro permanecerá inactivo y únicamente entrará en acción cuando en el primero ocurra un error. El mecanismo a través del cual el BIG-IP en modo pasivo se percata del fallo producido en el BIG-IP en modo activo es el mantenimiento de una señal de heartbeat que verifica la disponibilidad del otro dispositivo. En el momento en que el BIG-IP en modo pasivo no reciba dichas señales, cambiará inmediatamente a modo activo. Este proceso recibe el nombre de failover.

5. Evaluación de prestaciones

En este apartado se van a evaluar distintos aspectos referentes a la gestión del tráfico local realizada por los sistemas LTM de los dispositivos BIG-IP introducidos en la infraestructura de RedIRIS. Con el objeto de obtener parámetros que permitan realizar una evaluación adecuada, usaremos el software Apache JMeter [1] que es una aplicación diseñada para analizar el comportamiento funcional y para medir las prestaciones de un sistema. Las pruebas que se presentan en este artículo se realizan para el protocolo HTTP, ya que, es un protocolo general cuyo comportamiento es similar al de otros muchos.

5.1. Evaluación de los algoritmos de balanceo posibles para los servidores HTTP

Los dispositivos BIG-IP admiten muchos algoritmos de balanceo de carga o de tráfico, tales como, Round Robin, Random, Ratio, Least Connections, Fastest node, etc. En este ejemplo, vamos a comprobar el correcto funcionamiento de dos de estos algoritmos:

- 1) Round Robin, que distribuye por igual las peticiones entre los servidores disponibles.
- 2) Ratio, que nos permite distribuir las peticiones de forma asimétrica entre los servidores del pool en función de los pesos asignados a cada miembro.

Para ello, se van a crear, mediante el uso de la herramienta Apache JMeter, 1000 usuarios virtuales que realizan peticiones simultáneas a la URL por defecto del servidor virtual HTTP (<http://130.206.13.4/>). En la Tabla 3 se puede observar el número de peticiones que son atendidas por cada uno de los servidores.

TABLA 3. NÚMERO DE PETICIONES HTTP SERVIDAS POR CADA SERVIDOR EN FUNCIÓN DEL ALGORITMO DE BALANCEO ELEGIDO

ALGORITMO DE BALANCEO	ROUND ROBIN		RATIO (10:1)	
NOMBRE DEL SERVIDOR HTTP	http1	http2	http1	http2
Nº PETICIONES SERVIDOR VIRTUAL	500	500	909	91

Round Robin distribuye por igual las peticiones entre los servidores disponibles

En cualquier caso, el objetivo de estas pruebas es comprobar que, en caso de ser necesario por un aumento de la carga en alguno de los servidores del pool producido por cualquier motivo, las peticiones se podrían repartir de forma no equitativa entre ambos servidores, configurando el algoritmo Ratio y aumentando las prestaciones.

5.2. Evaluación de la alta disponibilidad ofrecida cuando se interrumpe un servidor HTTP

En esta prueba y en la siguiente se evalúa la alta disponibilidad esperada para el servidor virtual HTTP. Se comenzará comprobando que, a pesar de que uno de los servidores pertenecientes al pool de balanceo se vea afectado por un error que interrumpa su servicio, las peticiones de los clientes seguirán siendo atendidas por el servidor virtual HTTP, que enviará todo el tráfico HTTP recibido al otro servidor disponible del pool.

Manteniendo el escenario de pruebas del apartado anterior, se interrumpe uno de los servidores HTTP y se observa el contador de errores de cada una de las peticiones HTTP recibidas por el servidor virtual HTTP, el cual es proporcionado por la herramienta Apache JMeter y se muestra en la Figura 3. En ella se observa como únicamente aparecen respuestas erróneas en el intervalo de tiempo correspondiente al timeout del monitor empleado por el pool para conocer el estado de los servidores, aproximadamente 16 segundos. Además la probabilidad de que la respuesta sea errónea durante este intervalo es del 50%, ya que se está empleando el algoritmo de Round Robin.

Por tanto se puede concluir que, gracias a la instalación de los dispositivos BIG-IP, se está proporcionando alta disponibilidad a los servicios HTTP proporcionados a los clientes, prestando cierto grado de continuidad operacional a los mismos. En caso de requerirse, además, sería posible reducir el timeout por debajo de los 16 segundos.

Gracias a la instalación de los dispositivos BIG-IP sería posible reducir el timeout por debajo de los 16 segundos

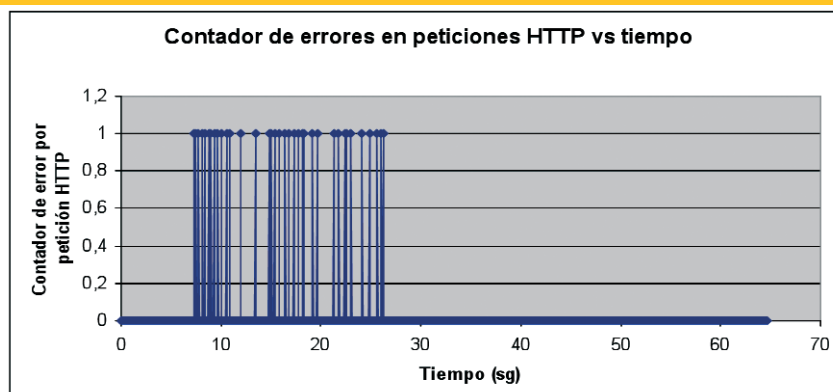


En esta prueba se validará la alta disponibilidad ofrecida por estos dispositivos



El primer paso es asegurarse de que los dos dispositivos BIG-IP se encuentren perfectamente sincronizados

FIGURA 3. CONTADOR DE RESPUESTAS ERRÓNEAS ATENDIDAS POR EL SERVIDOR VIRTUAL HTTP

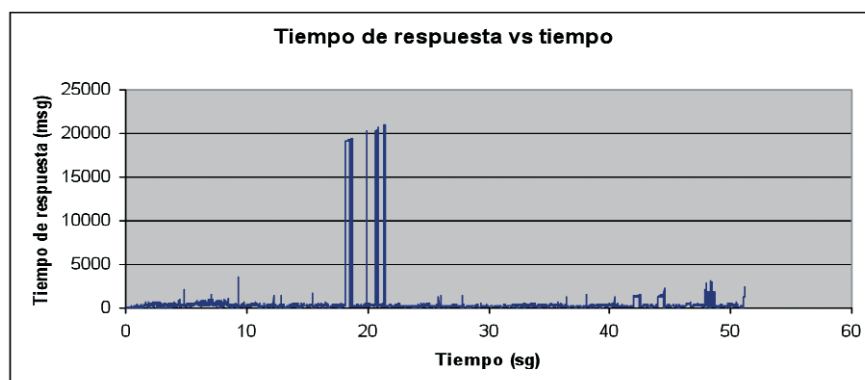


5.3. Evaluación de la alta disponibilidad ofrecida cuando se interrumpe el dispositivo BIG-IP activo

La configuración de los dos dispositivos BIG-IP, como se comentó anteriormente en el apartado 4, es activo-pasivo, proporcionando así redundancia al sistema. En esta prueba se validará la alta disponibilidad ofrecida por estos dispositivos.

El primer paso es asegurarse de que los dos dispositivos BIG-IP se encuentren perfectamente sincronizados. Después de esto, se repite la prueba anterior pero en este caso interrumpiendo el dispositivo BIG-IP que se encuentra en modo activo y se observa el tiempo de respuesta para las peticiones HTTP realizadas, obtenido por la herramienta Apache JMeter y que se muestra en la Figura 4.

FIGURA 4. TIEMPO DE RESPUESTA PARA PETICIONES HTTP CONTINUAS DE 100 USUARIOS, APAGANDO EL DISPOSITIVO BIG-IP ACTIVO



En este caso no se obtienen respuestas erróneas, si no que únicamente se observa un intervalo durante el cual aumenta el tiempo de respuesta para algunas peticiones HTTP. Este intervalo de tiempo se corresponde con el transcurrido desde que se apaga el dispositivo BIG-IP que se encontraba en modo activo hasta que el otro dispositivo se percata de ello y, por tanto, modifica su estado de pasivo a activo.

6. Conclusiones y trabajo futuro

La alta disponibilidad de servicios es una cuestión muy importante para una organización como RedIRIS ya que tiene un gran número de instituciones afiliadas a las que debe garantizar un servicio disponible en todo momento. Durante este artículo se ha propuesto y evaluado una solución tecnológica que proporciona alta disponibilidad a los servicios ofrecidos en RedIRIS.

La tecnología empleada para la obtención de dicha alta disponibilidad, escogida en base al estudio realizado acerca de las tecnologías de alta disponibilidad, ha sido aquella basada en dispositivos de gestión de tráfico. Su integración y posterior configuración en las infraestructuras de RedIRIS se ha realizado con éxito y las prestaciones obtenidas han sido las esperadas, ya que se ha demostrado la restauración, casi inmediata, del servicio ofrecido a pesar de la interrupción de uno de los servidores de RedIRIS o del propio dispositivo BIG-IP que se encuentre en modo activo. Por tanto, con la configuración activo-pasivo se ha eliminado el punto de fallo que podría aparecer por el hecho de introducir un nuevo dispositivo de importancia crítica en la infraestructura de RedIRIS.

El trabajo comentado en este artículo es la base para realizar un análisis exhaustivo de los servicios ofrecidos por RedIRIS y sus particularidades con el fin de determinar qué herramientas, de las proporcionadas por los dispositivos BIG-IP, son las más adecuadas para cada caso. De esta forma se estaría sacando el máximo partido a la implantación de estos dispositivos y no sólo se estaría disfrutando de alta disponibilidad que son capaces de ofrecer a los servicios ofrecidos por RedIRIS.

Otro posible trabajo futuro sería realizar un análisis del tráfico de RedIRIS para detectar los servicios más críticos que requieran mayores prestaciones y, en base a esto, adecuar la configuración de los dispositivos BIG-IP para que gestionen dicho tráfico de la manera oportuna.



Durante este artículo se ha propuesto y evaluado una solución tecnológica que proporciona alta disponibilidad a los servicios ofrecidos en RedIRIS



Bibliografía

- [1] "Apache JMeter user's manual". Apache Software Foundation.
http://jakarta.apache.org/jmeter/usermanual/component_reference.html. (2008).
- [2] Balasubramanian, Jaiganesh; Schmidt, Douglas C.; Dowdy, Lawrence ; Othman, Ossama.
"Evaluating the Performance of Middleware Load Balancing Strategies".
http://www.dre.vanderbilt.edu/ai/PDF/EDOC_2004.pdf.
- [3] "BIG-IP Local Traffic Manager: Implementations. Version 9.3".
<https://support.f5.com/>. (2007).
- [4] "BIG-IP Network and System Management Guide. Version 9.3".
<https://support.f5.com/>. (2007).
- [5] "Configuration Guide for Local Traffic Management. Version 9.3".
<https://support.f5.com/>. (2007).
- [6] DeRienzo, Frank. "Choosing a Hardware Load-Balancing Device".
http://www.adobe.com/devnet/server_archive/articles/.
- [7] Morales Vázquez, José María. "Diseñando Sistemas de Alta Disponibilidad y Tolerantes a Fallos".
- [8] RedIRIS, Red Académica y de Investigación Española.
<http://www.rediris.es>.

Virginia Martín-Rubio
(virginia.martinrubio@rediris.es)

Antonio Fuentes Bermejo
(antonio.fuentes@rediris.es)

RedIRIS/red.es