



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

Departamento de Informática

**CARACTERIZACIÓN, EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE
SISTEMAS MULTIMEDIA INTERACTIVOS EN ENTORNOS
DE E-LEARNING SÍNCRONO**

Juan Carlos Granda Candás

Gijón, julio de 2008



Universidad
de Oviedo

Reservados todos los derechos
© El autor

Edita: Universidad de Oviedo
Biblioteca Universitaria, 2009
Colección Tesis Doctoral-TDR nº 43

ISBN 978-84-691-7822-5
D.L.: AS.05361-2008



Capítulo 5

Valoración del funcionamiento

En este capítulo se presentan las experiencias llevadas a cabo con el prototipo desarrollado en el capítulo 4. Estas experiencias comprenden pruebas de laboratorio y situaciones reales en las que el prototipo se utilizó para impartir actividades docentes dentro del ámbito de un programa de doctorado de tercer ciclo.

5.1. Introducción

Con el objetivo de verificar el buen funcionamiento del prototipo y su aplicabilidad en la impartición de actividades docentes es necesario someterlo a diferentes pruebas. En las aplicaciones software es común realizar tres tipos de pruebas. Las primeras, las pruebas funcionales, buscan verificar que el funcionamiento de la aplicación se corresponde con los requisitos que debe cumplir, es decir, que hace lo que debe. El segundo tipo de pruebas, las pruebas de rendimiento, están dirigidas a analizar el comportamiento de la aplicación en diferentes escenarios de carga. Por último, las pruebas de usabilidad y accesibilidad, están orientadas a definir lo fácil que les resulta a los usuarios utilizar la aplicación y las dificultades que pueden encontrarse los usuarios en el manejo de la misma.

En el caso de las herramientas de e-learning síncrono, además de estas pruebas, típicas del desarrollo del software, es posible realizar otro tipo de pruebas adicionales. Estas consisten en la utilización de una herramienta en un entorno de enseñanza real, lo que ayudará a cuantificar cuál es el efecto de la utilización de una herramienta de e-learning síncrono para impartir clases a distancia respecto a una clase presencial tradicional. Se podría decir que es un aspecto más de la usabilidad de la herramienta, pero que supone ir un paso más allá de las medidas de usabilidad tradicionales. Así, es posible concluir qué aspectos de la herramienta pueden mejorarse y si es necesario añadir nueva funcionalidad.

En la presente tesis, se han realizado, principalmente, dos tipos de pruebas: pruebas de laboratorio y pruebas sobre escenarios reales. En el primero de los casos, las pruebas han consistido en valoraciones cualitativas de los diferentes prototipos desarrollados durante el proceso de prototipado, orientado a concluir un diseño óptimo para el ámbito concreto de utilización del prototipo. En este diseño final, se ha considerado una red (la red corporativa empresarial) que impone unas condiciones bastante restrictivas a los tráfico que fluyen por la misma, por lo que el prototipo consume muy poco ancho de banda a costa de una deliberada reducción de funcionalidad. Esto lo hace también aplicable a otras situaciones, donde la red proporcione un ancho de banda adecuado y no sea un factor tan importante.

El segundo escenario en el que se realizaron, y se realizarán, diferentes pruebas con el prototipo corresponde a un proyecto de innovación docente, aún vigente, para implantar el uso una herramienta de e-learning síncrono en la impartición de clases a distancia y la mejora de la acción tutorial. El proyecto se desarrolla en el marco de tres cursos de doctorado y dos asignaturas de tercer curso de Ingeniería Técnica en Informática. Por un lado, se pretende facilitar el seguimiento de las sesiones de los cursos de doctorado a los alumnos que por motivos laborales, en su gran mayoría, no pueden asistir regularmente, y por otro, fomentar la acción tutorial sobre grupos de

alumnos trabajando en equipo. Con este proyecto, entre otros objetivos, se persigue probar el prototipo dentro de situaciones reales al tiempo que hacerlo evolucionar para cubrir mejor las expectativas que los usuarios esperan de una herramienta de e-learning síncrono. Se han realizado exclusivamente pruebas cualitativas de la calidad que perciben los usuarios en el uso de la herramienta durante las clases virtuales.

En lo que resta de capítulo se detallan las diferentes pruebas que se han realizado sobre el prototipo. Inicialmente, se comentan las diferentes métricas que pueden utilizarse para valorar cualitativamente la reproducción de medios dentro del prototipo. A continuación, se exponen las pruebas de valoración cualitativa desarrolladas en laboratorio que se han realizado para dar soporte al proceso iterativo de prototipado que concluyó en el prototipo final expuesto en el capítulo 4. En último lugar, se describe la utilización del prototipo en una experiencia real de educación a distancia, que sirve para extraer medidas cualitativas de la satisfacción de los usuarios del prototipo en base a encuestas.

5.1.1. Métricas cualitativas para la evaluación de medios continuos

La evaluación cualitativa de un medio continuo consiste en la estimación de la calidad que perciben un grupo de usuarios en la reproducción de dicho medio. Los datos que componen el medio pueden haber sido recibidos por red y previamente codificados utilizando un determinado codec. En ese caso, se estima la calidad de la señal decodificada, para evaluar el impacto de codec y de la red por la que se transmite el medio sobre la calidad del mismo.

Mean Opinion Score (MOS), descrita en la recomendación P.800 de la ITU-T es la métrica cualitativa más utilizada en la estimación de la calidad de medios continuos. Permite expresar la calidad percibida por el usuario en la reproducción de un medio, típicamente, recibido por la red y/o codificado con algún codec. Para su cálculo se utiliza la media aritmética de las opiniones de un conjunto de usuarios sobre la calidad en la reproducción. Habitualmente, esta medida se utiliza para estimar la calidad del proceso de codificación de la voz humana utilizando codecs específicos. En la tabla 5.1 se representa la escala de valores de MOS.

Tabla 5.1: Escala de valores de la métrica MOS

Valor	Calidad
5	Excelente
4	Buena
3	Aceptable
2	Pobre
1	Mala

En toda medición en la que intervienen opiniones de los usuarios siempre existe un factor de subjetividad. Esta subjetividad se atenúa tanto más cuanto mayor es el número de usuarios. Sin embargo, la utilización de un número de usuarios alto para este tipo pruebas implica un elevado coste. Para paliar esta situación, se definieron métricas que tratan de evaluar de forma objetiva la calidad en la reproducción de un medio. Habitualmente, esas métricas tienen una traducción directa a un valor de MOS.

Para el caso del audio, existen diferentes técnicas para el cálculo objetivo de la calidad del medio. PSQM (*Perceptual Speech Quality Measure*) y su sucesor PESQ (*Perceptual Evaluation of Speech Quality*) son algoritmos propuestos por la ITU-T en las recomendaciones P.861 [Union, 1998] y P.862 [Union, 2001]. PESQ envía una señal de referencia a través de la red y compara esta señal de referencia con el medio recibido al otro lado de la red. Otra métrica, también propuesta

por la ITU-T es el *E-model* [Union, 2000], cuyo resultado es un escalar denominado el *factor R* que depende de los retrasos de paquetes en la red y el equipamiento utilizado para transmitir la señal (*i.e.* codecs).

En el caso del vídeo, la métrica más utilizada es el PSNR (*Peak Signal-to-Noise Ratio*) que mide la relación que existe entre la máxima energía de una señal frente al ruido de fondo, que afecta a la fidelidad con que se reproduce la señal. Habitualmente se utiliza para comparar imágenes codificadas con un codec que degrada la señal. Para su cálculo, se utiliza el error cuadrático medio entre dos imágenes I y K , donde la segunda representa la imagen codificada de la imagen original I , ambas con una tamaño de $m \times n$, para lo cual se utiliza la ecuación 5.1.

$$MSE = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} \|I(i, j) - K(i, j)\|^2 \quad (5.1)$$

Posteriormente, el PSNR se calcula como indica la ecuación 5.2, donde MAX_I es el valor máximo de un pixel, habitualmente 255.

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (5.2)$$

5.2. Pruebas de laboratorio

Durante el desarrollo del prototipo se han realizado diferentes pruebas conducidas a proporcionar una valoración cualitativa del funcionamiento de diferentes partes del mismo. En base a estas valoraciones se han desarrollado sucesivos prototipos dentro del proceso iterativo de prototipado-evaluación-optimización para concluir un diseño óptimo para una herramienta de e-learning síncrono cuyo ámbito de aplicación principal consistirá en la capacitación de personal en grandes corporaciones, con unas restricciones de red y unos requisitos de usuario específicos. En muchas ocasiones, estas pruebas sirvieron para desechar alternativas de diseño y obtener conclusiones de cómo debía modificarse el prototipo para adecuarse, sobre todo, a los requisitos de ancho de banda en la red y capacidad de procesamiento de los equipos informáticos. No en vano, la utilización de la red y el consumo de recursos en los equipos clientes son los factores más importantes a optimizar en un SMI en general y una herramienta de e-learning síncrono en particular.

En la mayor parte de las pruebas que se realizaron dentro de la red corporativa de Arcelor-Mittal no se utilizaron técnicas de corrección de errores FEC en el transporte de los medios no continuos (presentación de contenidos, anotaciones, navegación...). De hecho, en todas las pruebas realizadas tanto en la red corporativa como en ámbitos metropolitanos e internacionales no se experimentaron pérdidas de paquetes. La razón puede encontrarse en los altos anchos de banda disponibles en los enlaces de red, ya que la mayor parte de las veces que se producen pérdidas de paquetes son debidas a congestiones en puntos de la red que obligan a los routers de la misma a descartar paquetes. La no utilización de técnicas de corrección de errores en el transporte de los datos se planteó para mejorar el rendimiento del prototipo sobre los equipos menos potentes, ya que el cálculo de los códigos FEC y su posterior decodificación requiere una potencia de computación significativa, especialmente para paquetes de datos grandes. Así, se permitía la participación en las clases virtuales de usuarios con equipos con muy bajas capacidades computacionales.

Como se trató en el apartado 4.2, se utiliza preferentemente transporte multicast para distribuir los datos multimedia entre todos los participantes de la clase. Además, el instructor es la fuente del tráfico con mayores requerimientos de ancho de banda (audio y vídeo), mientras que los alumnos sólo generan tráfico relacionado con la mensajería instantánea, las anotaciones y el puntero virtual. De igual manera, los recursos a utilizar como contenidos en las áreas de trabajo

de la pizarra deben ser previamente descargados en lugar de transmitirse durante la clase virtual, con lo que se consigue un ahorro del ancho de banda consumido con respecto a enviarlos bajo demanda.

El prototipo ha sido probado tanto en ámbitos locales como metropolitanos e internacionales de forma satisfactoria, en estos últimos casos utilizando el relay RTP de apoyo. A continuación, se documenta una de las pruebas realizadas con alcance internacional.

5.2.1. Prueba internacional

En una de las pruebas llevadas a cabo se utilizó la herramienta prototipo para impartir un seminario de unos 20 minutos de duración, al cual participaron usuarios de Suiza y España. En concreto, siguieron la sesión 4 alumnos y un instructor. El instructor, se encontraba físicamente en la Universidad de Oviedo al igual que uno de los alumnos. Otros dos alumnos se localizaban en sus propios domicilios, situados en Gijón, cada uno con su propia conexión a Internet (ADSL y HFC). Mientras que el último de los alumnos se encontraba en Ginebra, en el CERN¹.

Bajo este escenario, resultaba imprescindible el uso del relay RTP para reenviar la información generada por el instructor desde la Universidad de Oviedo al resto de participantes del seminario y viceversa. Más específicamente, el relay se utilizó en una configuración multiunicast, es decir, reenviando cada flujo individual a cada uno de los participantes utilizando conexiones unicast.

Independientemente de que se utilicen técnicas multicast o el servidor relay para hacer llegar los datos a los participantes de la clase virtual, desde el punto de vista de estos últimos, su comportamiento será idéntico, ya que reciben los mismos flujos de datos conteniendo la misma información. En este sentido, tanto el instructor como uno de los alumnos utilizaron dos equipos gemelos, de forma que los resultados en uno y otro fueran directamente comparables. En concreto, las características de ambos equipos son las que se indican en la tabla 5.2.

Tabla 5.2: Características técnicas de los equipos de instructor y alumno

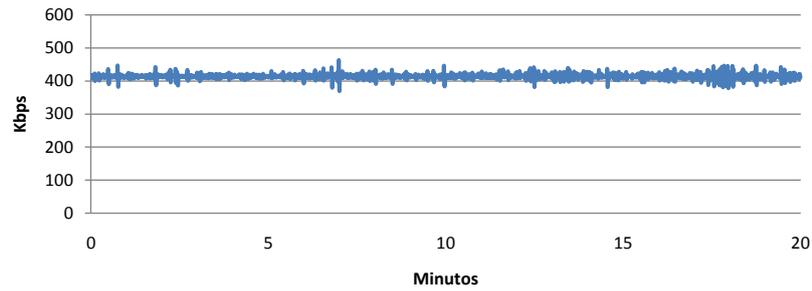
Elemento	Modelo
CPU	Intel Core 2 Duo E6600 (4 MB de cache L2)
Memoria	2 GB DDR2 Dual Channel 800 MHz
Placa base	Gigabyte GA-965P-DQ6
Disco Duro	Seagate Barracuda 7200.10 SATA 3.0Gb/s 400-GB

En la figura 5.1 se reflejan los recursos consumidos por la herramienta durante el desarrollo de la sesión.

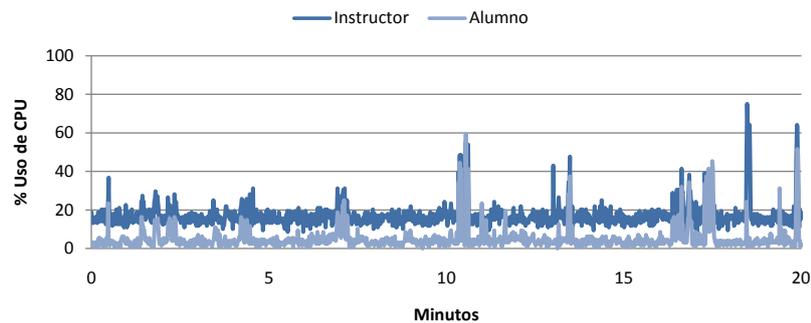
En la figura 5.1(a) se indica el ancho de banda de red consumido por todos los medios que componen la clase virtual, con una media de 414,1 Kbps. Casi en su totalidad, este ancho de banda se corresponde con el necesario para el audio y vídeo del instructor. El ancho de banda consumido restante se corresponde con el resto de medios, y es sensiblemente inferior respecto al necesario para el audio y vídeo. Este va a depender del número de participantes en la clase y la interacción que se produzca entre ellos.

Por contra, en la figura 5.1(b) se indica el uso de CPU que realizan los equipos de instructor y alumno durante el desarrollo de la clase. Se puede apreciar en ambos un consumo más o menos uniforme a lo largo de la clase asociado al procesamiento de audio y vídeo. La diferencia entre el consumo de CPU del instructor y el alumno reside en la mayor complejidad computacional requerida para codificar la información multimedia que para decodificarla. El procesamiento del resto de medios aparece en la figura como diferentes picos repartidos a lo largo de la clase virtual.

¹Centre Européen pour la Recherche Nucleaire.



(a)



(b)

Figura 5.1: Consumos de (a) ancho de banda de red y (b) CPU en los equipos de instructor y alumno

En los siguientes apartados, se desglosa el consumo de recursos de cada uno de los medios que componen la clase virtual y que dan como resultado el comportamiento observado en la figura 5.1.

5.2.1.1. Audio y vídeo

En la figura 5.2 se detallan los consumos de ancho de banda del audio y del vídeo generados por el instructor.

Durante la prueba se utilizó una resolución de vídeo de 320x240 pixels y 15 cuadros por segundo, lo que implicó un bitrate medio de 323 Kbps, correspondiente a uno de los modos de funcionamiento del codec VC-1 utilizado. De igual manera, el audio supuso un bitrate medio de 90 Kbps. Este último resulta bastante elevado y se deriva de la utilización de un codec no optimizado para la transmisión de voz humana.

5.2.1.2. Mensajería instantánea

La mensajería instantánea es el medio que menores requisitos de ancho de banda necesita. Los alumnos plantearán dudas y cuestiones al instructor y al resto de alumnos a través de un mensaje de texto, por lo que es coherente suponer que el número de mensajes de texto en una clase virtual será relativamente bajo. De cualquier forma, incluso aunque el volumen de mensajes de texto sea elevado, el ancho de banda necesario para este medio será ínfimo en comparación con el necesario para el audio o el vídeo.

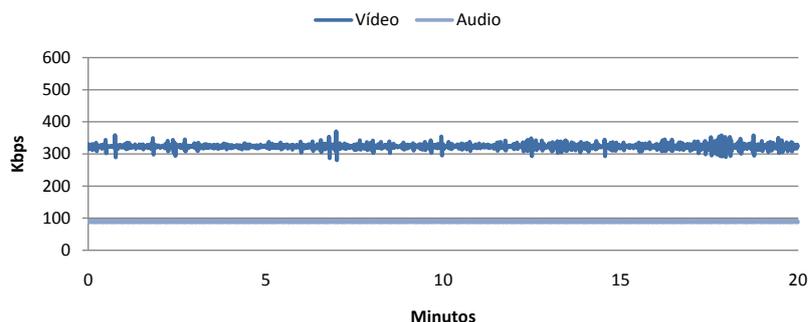


Figura 5.2: Consumo de ancho de banda del audio y el vídeo del instructor

En la figura 5.3 se representa el ancho de banda necesario para transportar los mensajes de texto de un único alumno. Este ancho de banda crecería de forma lineal con el número de participantes en la clase.

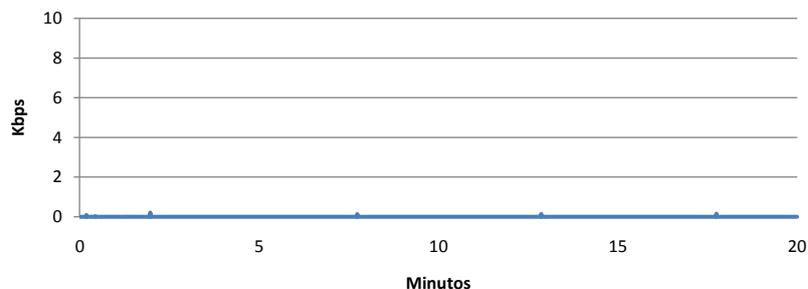


Figura 5.3: Consumo de ancho de banda de los mensajes de texto de un participante

5.2.1.3. Presentación de contenidos

En la figura 5.4 se refleja el ancho de banda consumido así como el número de áreas de trabajo de pizarra abiertas en cada instante a lo largo de la clase virtual. Como puede observarse, dado que no es necesario transportar los contenidos que se exponen de fondo en cada área de trabajo, el consumo de ancho de banda no se relaciona directamente con la creación de nuevos espacios de trabajo, sino con la navegación a través de los mismos. Los picos que se identifican en el ancho de banda se corresponden con desplazamientos dentro de una misma página cuando el factor de zoom es mayor que el 100% (movimientos de *scroll*), en cuyo caso es necesario transportar al resto de participantes el desplazamiento sobre el origen de coordenadas de la esquina superior izquierda del área de visualización.

Es habitual que durante una clase virtual se utilicen varias áreas de trabajo de la pizarra. Típicamente, en una de las áreas se exponen los contenidos principales a impartir durante la clase, mientras que en otra área se abrirán contenidos adicionales relacionados, o bien se puede utilizar como pizarra compartida para realizar anotaciones aclaratorias. De ahí que en la misma figura 5.4 se reconozca la creación y destrucción de varias áreas de trabajo. El instructor abriría una pizarra para detallar algunos aspectos que hayan podido quedar poco claros o les instaría a los alumnos a realizar algún tipo de ejercicio utilizando las anotaciones; posteriormente, cerraría

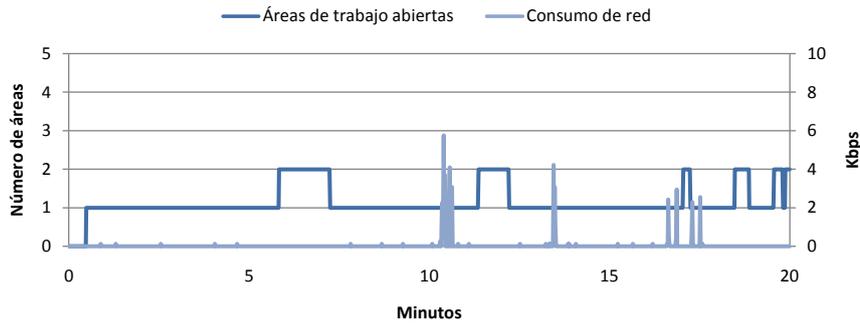


Figura 5.4: Consumo de ancho de banda de la pizarra virtual

el área de trabajo para continuar la clase. Este trasiego en la creación y destrucción de áreas de trabajo suponen picos en la utilización de la CPU de cada uno de los participantes de la clase, especialmente si se utilizan contenidos en PowerPoint que deban ser convertidos al formato interno de representación.

5.2.1.4. Anotaciones

Otro de los medios que pueden utilizar los alumnos para transmitir información hacia el profesor son las anotaciones. Dependiendo del nivel de interactividad de la clase el volumen de información a transportar será mayor o menor. En la figura 5.5 se representa el ancho de banda necesario para transmitir las anotaciones de un alumno y del instructor durante el desarrollo virtual. En este caso, se considera una clase con un nivel de interactividad medio, en la cual el instructor solicita a los alumnos la realización de una serie de ejercicios mediante la composición de diagramas de trazos.

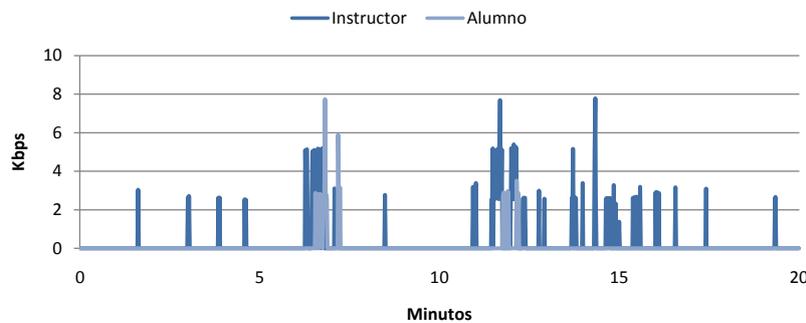


Figura 5.5: Consumo de ancho de banda de las anotaciones de dos usuarios

Como se aprecia en la figura, el ancho de banda utilizado no es constante sino que presenta algunos picos que es necesario considerar. Estos picos serán más acentuados cuanto mayor cantidad de información se transmita en cada trazo y cuantos más trazos se realicen. Además, la realización de anotaciones también tiene un impacto sobre el consumo de CPU, ya que supone pequeños picos repartidos a lo largo de la clase virtual según éstas se realizan.

5.2.1.5. Punteros virtuales

Por último, el ancho de banda consumido por los punteros del instructor y del alumno puede apreciarse en la figura 5.6. Este ancho de banda es extremadamente bajo pues únicamente se transportan los datos del puntero cuando cambia su estado. Sin embargo, tiene un impacto mayor sobre el uso de CPU que realiza la herramienta en cada uno de los equipos para renderizar los punteros.

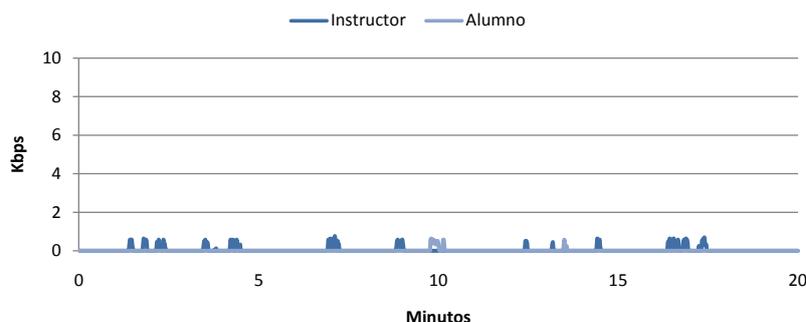


Figura 5.6: Consumo de ancho de banda de los punteros virtuales de dos usuarios

5.2.1.6. Conclusiones

Como se ha podido comprobar, el audio y el vídeo son los medios que más ancho de banda consumen, hasta tal punto que determinan prácticamente la totalidad del ancho de banda utilizado en la clase virtual. Gracias a que el instructor es el único permitido a enviar audio y vídeo, en entornos multicast la escalabilidad de la plataforma no se ve comprometida por el consumo de ancho de banda de ambos medios. Lo mismo puede decirse de la presentación de contenidos ya que también utiliza un modelo de interacción 1-N.

Por contra, el resto de medios: anotaciones, punteros virtuales y mensajería instantánea; aún a pesar del escaso ancho de banda que consumen en comparación con el audio y el vídeo, deben tenerse en cuenta pues, en principio, requerirán más recursos en función del número de participantes. De esta forma, pueden llegar a limitar la escalabilidad de la herramienta. Sin embargo, el aumento de usuarios no lleva aparejado consigo directamente un aumento de los recursos necesarios si este no viene acompañado de un cierto nivel de interactividad en la clase. Por ejemplo, una clase con alumnos pasivos únicamente requerirá el ancho de banda necesario para enviar los datos del instructor. Es por esto que la escalabilidad de la herramienta en entornos multicast no viene determinada por el número de usuarios sino por la interactividad que se produce entre ellos.

De cualquier manera, en la mayoría de ocasiones, la limitación en el número de usuarios participantes vendrá impuesta por la cantidad de alumnos a los que puede atender el instructor simultáneamente, que siempre será más pequeña que el número de alumnos a los que puede dar soporte la herramienta.

5.2.2. Relay RTP

Desde un primer momento se consideró el tráfico multicast como la solución ideal dentro de la red corporativa. Si bien esta solución es directamente aplicable a redes locales, en redes más extensas es necesario habilitar el tráfico multicast a través de los distintos routers para que los paquetes fluyan por la red. Gracias a que dentro de una misma organización la administración de

la red suele estar centralizada, se pueden configurar los routers de forma adecuada. Sin embargo, aunque éste es el principal escenario de aplicación del prototipo, también interesa que puedan participar en las clases virtuales alumnos desde fuera de la red corporativa. Para ello, se desarrolló el servidor relay RTP, que permite poner en contacto usuarios dentro de la red corporativa con usuarios fuera de la misma y viceversa, emulando el comportamiento de uno o varios grupos multicast independientes. Con esto, el problema de la conectividad desde dentro y fuera de la red corporativa quedó resuelto.

En el experimento descrito en el apartado anterior, se utilizó el relay RTP para permitir que los alumnos ubicados fuera de la red de la Universidad de Oviedo pudieran participar en la clase virtual. De este modo, se configuró el relay en una disposición multiunicast en la que el servidor reenviaba la información de la clase virtual a cada alumno a través de conexiones unicast. Las características de este equipo servidor son las que refleja la tabla 5.3.

Tabla 5.3: Características técnicas de relay RTP

Elemento	Modelo
Equipo	Dell PowerEdge 2850 Server
CPU	2 Xeon 3.60 GHz (2 MB de cache L2 cada uno)
Memoria	2 GB DDR2 800 MHz
Disco Duro	2 Ultra320 SCSI 146 GB 15 000 rpm RAID 0
Red	100 Mbps

En la figura 5.7 se muestran los recursos utilizados por el relay durante el desarrollo de la prueba. Como se puede observar, el factor crítico que más afecta a la escalabilidad del relay es, básicamente, el número de participantes con los que es necesario establecer comunicaciones unicast, en este caso todos por la disposición del relay en una configuración multiunicast. De hecho, el ancho de banda consumido es proporcional al número de conexiones unicast, ya que cada flujo de datos generado por un participante debe ser reenviado al resto, con lo que tenemos los mismos datos replicados tantas veces como número de participantes en la clase.

Por este motivo, dado que el audio y el vídeo son los medios que más ancho de banda consumen de cuantos utiliza la herramienta, cuanto más capacidad de comprimir la señal de audio y vídeo tengan los codecs utilizados, tanto más escalable será el servidor relay. Por eso, deben tenerse en cuenta estos factores a la hora de valorar la escalabilidad del servidor. En principio, con una configuración de vídeo de 320x240 pixels y 15 cuadros por segundo, ya que el incremento de ancho de banda necesario sería lineal con respecto al número de participantes, el número aproximado de participantes a los que el servidor sería capaz de dar soporte sería:

$$\text{Número máximo de usuarios} = \frac{100 \text{ Mbps}}{414,1 \text{ Kbps}} = 241,48 \quad (5.3)$$

Por supuesto este número es el límite teórico y depende en gran medida del nivel de interacción de la clase. Una clase muy interactiva implicará un mayor consumo de ancho de banda, lo que resultará en un menor número de conexiones unicast que puede mantener el relay y, en definitiva, un menor número de usuarios. Por el contrario, una clase meramente expositiva permitirá un mayor número de participantes ya que se genera menos tráfico desde los alumnos.

Sin embargo, a pesar del considerable número de conexiones unicast que podría mantener el servidor, las cuales se traducen en alumnos individuales en una disposición multiunicast, en el apartado 4.2 se abordaron diferentes arquitecturas de red para mejorar la escalabilidad de toda la plataforma. La solución óptima pasa por la utilización de técnicas híbridas que combinen distribución multicast y unicast de forma que se dé soporte a un mayor número de usuarios.

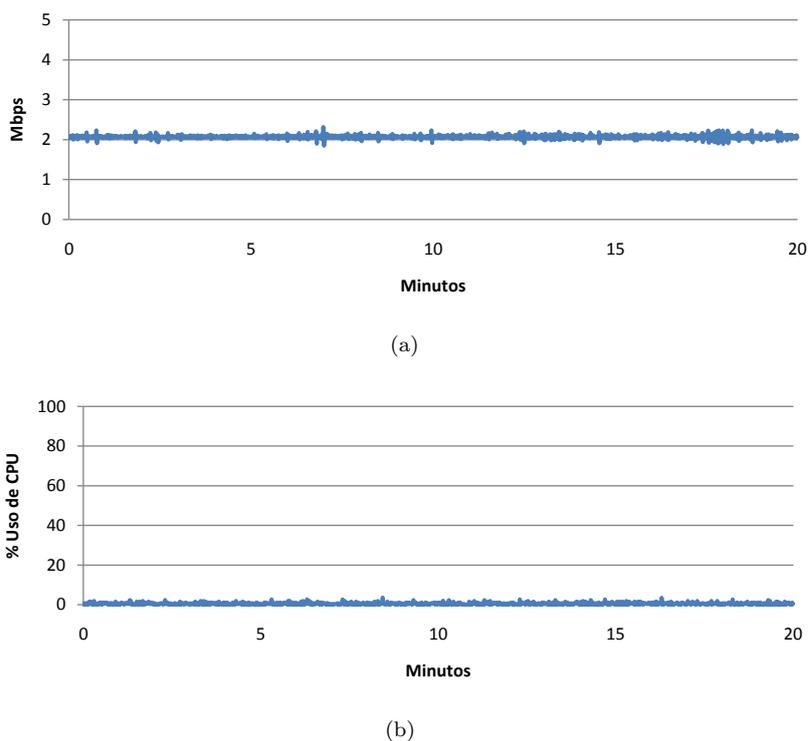


Figura 5.7: Consumos de (a) ancho de banda de red y (b) CPU en en el relay RTP

Por otro lado, en la figura 5.7(b) se muestra el consumo de CPU en el relay durante la clase virtual. La operación de reenvío de los datos por parte del servidor, siempre y cuando no se realice ningún tipo de procesamiento adicional de las señales, no supone apenas carga. Por lo tanto, no debería ser un factor que limitara la escalabilidad de la plataforma al contrario de lo que ocurre con el ancho de banda de red consumido.

5.3. Docencia en tercer ciclo y acción tutorial

En la actualidad, una de las dificultades a las que tienen que hacer frente los cursos que se imparten en el ámbito de los estudios de tercer ciclo es el alto absentismo de los alumnos a las sesiones. Esto se explica, en la mayor parte de las ocasiones, por el perfil del alumno que asiste a estos cursos. Se trata en su mayoría de personas que se encuentran trabajando y les resulta complicado cuadrar los horarios de trabajo con la asistencia a las sesiones. Además, debido a la corta duración de estos cursos y que suelen organizarse en sesiones de varias horas, la ausencia a una de estas sesiones supone un contratiempo sensible.

En este sentido, soluciones como la enseñanza a distancia utilizando las nuevas tecnologías se presentan como alternativas complementarias muy válidas y que permiten una mejor organización del tiempo a los alumnos. Resulta especialmente adecuado el uso de técnicas de e-learning síncrono, en donde instructor y alumnos participan en una actividad formativa al mismo tiempo, pero no necesariamente en el mismo lugar. Esto presenta una serie de ventajas:

- Participación en las clases de alumnos muy dispersos geográficamente. De esta forma se evitan desplazamientos, con el consiguiente ahorro económico y de tiempo.

- Interacción y colaboración entre alumnos e instructor en tiempo real, mimetizando las relaciones que se producen dentro de un aula tradicional.
- Sensación de inmediatez y co-presencia. Las dudas de los alumnos son resueltas por el instructor inmediatamente.
- Ayuda en la creación de una comunidad de aprendizaje. Unos alumnos se benefician de las ideas de otros al tiempo que se crea una identidad colectiva que viene a favorecer el trabajo en grupo.
- Funcionalidad extra. Permite, por ejemplo, el uso de pizarras virtuales para fomentar el trabajo colaborativo.

Por otra parte, en el primer y segundo ciclo de la enseñanza superior, en muchas ocasiones los alumnos descartan acudir a tutorías por la necesidad de desplazarse, incluso desde otra localidad, en horarios que no le son propicios. En este sentido, una de las técnicas que permite minimizar este problema es la utilización del correo electrónico para realizar la acción tutorial. Esto presenta una serie de desventajas. Por un lado, la interacción entre instructor y alumno no se produce en tiempo real, por lo que comúnmente involucra sucesivos intercambios de mensajes, lo que redundaría en un mayor tiempo empleado para resolver las dudas. Además, adolece de instantaneidad; los alumnos no pueden plantear sus dudas de forma inmediata, si no que tienen que redactarlas de forma adecuada, con la consiguiente posibilidad de introducir ambigüedades. El correo electrónico resulta especialmente poco adecuado cuando la acción tutorial se realiza sobre un grupo de alumnos que realiza un trabajo en equipo. En este caso, sería más apropiada una herramienta que permitiera la colaboración e interacción simultánea entre todos los miembros del equipo y el instructor, de forma que las dudas se planteen y se resuelvan de forma conjunta.

En la actualidad, se está desarrollando un proyecto de innovación docente, denominado e-pSylon, donde se utiliza la herramienta prototipo para la impartición de clases a distancia y se fomenta la acción tutorial sobre alumnos trabajando en equipo. En el proyecto están involucrados 8 profesores del área de Arquitectura y Tecnología de Computadores de la Universidad de Oviedo, que representan tres cursos de doctorado y dos asignaturas de Ingeniería Técnica en Informática.

Específicamente, este proyecto persigue dos objetivos principales:

1. Reducir el absentismo en las clases de doctorado. Consiste en la utilización de la herramienta prototipo para paliar la baja asistencia de los alumnos a los cursos de doctorado. En concreto, se aplicará a varios de los cursos que se imparten dentro del programa de doctorado *Sistemas y servicios informáticos para Internet* del Departamento de Informática de la Universidad de Oviedo. Inicialmente, se llevará a cabo una experiencia piloto en uno de los cursos a impartir en el año académico 2007–2008. Posteriormente, su aplicación se extenderá a otros cursos de doctorado en el año académico 2008–2009.
2. Facilitar la acción tutorial. Consiste en la utilización de la misma herramienta de forma colaborativa para facilitar la acción tutorial de los instructores en asignaturas que se imparten de forma presencial, especialmente en el caso de grupos de alumnos que trabajan en equipo. Esta acción será llevada a cabo en dos asignaturas: *Ingeniería de Computadores y Tecnología de Computadores*. En ambos casos, siempre como complemento de las clases presenciales.

5.3.1. Viabilidad

Inicialmente, puede pensarse que el tiempo de aprendizaje en el uso de una nueva herramienta informática puede ser significativo y que, incluso, en el caso de los cursos de doctorado, dado su corto periodo de docencia, es contraproducente. Nada más lejos de la realidad por el perfil

que presentan los alumnos: titulados superiores en informática o disciplinas afines en el caso de los cursos de doctorado, y alumnos de tercer curso de ingeniería técnica informática en el caso de las asignaturas; y el especial énfasis puesto en el diseño simple e intuitivo del prototipo de herramienta.

Gracias a que la herramienta permite la utilización de los mismos materiales docentes que se han venido utilizando tradicionalmente, presentaciones PowerPoint especialmente y documentos PDF, la migración desde un entorno presencial a un entorno virtual en línea es prácticamente directa, si necesidad de adaptar los materiales. Así, el trabajo del instructor se limita a la habitual preparación previa de las clases.

Además, con la utilización del servidor relay RTP, desarrollado junto con el prototipo, es posible que las clases virtuales no se limiten a la red de la Universidad de Oviedo, sino que los alumnos pueden conectarse desde sus casas o puestos de trabajo. No es necesario que todos los alumnos y el instructor se ubiquen dentro de una red donde esté habilitado el transporte multicast, puesto que este servidor emula el comportamiento de grupos multicast sobre redes que no permiten este tipo de transporte. De esta forma, se permite una mayor flexibilidad a la hora de establecer los horarios en que se llevan a cabo los cursos impartidos con la herramienta prototipo.

5.3.2. Metodología

En la actualidad, la mayor parte de las sesiones dentro de los cursos de doctorado se realizan de forma presencial utilizando una metodología meramente expositiva a través de clases magistrales. En dichas sesiones se facilita a los alumnos una presentación de PowerPoint con los contenidos del curso, y que sirve como material de referencia. Estos apuntes sirven de hilo conductor de las clases teóricas que se imparten con una metodología expositiva.

Habitualmente, la duración de los cursos es de 30 horas repartidas en 20 horas de clases teóricas presenciales y 10 destinadas a la realización de trabajos individuales por parte de los alumnos. Las horas presenciales, por las características de estos cursos, suelen agruparse en sesiones de 3 ó 4 horas, por lo que el número de sesiones se reduce a 5 por curso. En ocasiones las 20 horas presenciales se reparten en contenidos teóricos y prácticos, acudiendo en el último caso a salas de informática especialmente acondicionadas. Aquellos cursos que constan de parte práctica, organizan éstas en sesiones para las cuales se dispone de guiones descriptivos.

La disponibilidad de un PC para el seguimiento de las sesiones puede, en algunos casos, resultar un requisito inasumible para ciertos alumnos. Esto ocurrirá en muy pocas ocasiones por el tipo de alumnos al que va dirigida la experiencia. En cualquier caso, se dispone de un aula multimedia dotada con 8 equipos destinados a aquellos alumnos que, o bien prefieren asistir presencialmente a los cursos, o bien no disponen de un equipo y/o conexión a Internet desde el que atender a las sesiones de forma remota. Este aula será utilizada durante la primera experiencia piloto para analizar el comportamiento de los alumnos en la utilización de la herramienta y en la participación en las sesiones de e-learning, lo cual permitirá observar el comportamiento de cada uno de ellos durante el desarrollo de la clase virtual.

Para llevar a cabo la primera experiencia piloto, se divide la sesión de 4 horas en cuatro partes:

- **Presentación:** tanto el profesor como los alumnos se presentan y se detalla la temática del curso. Además, se les informa a los alumnos de la prueba que se va a llevar a cabo con la herramienta prototipo y la metodología a seguir.
- **Primera parte:** se realiza una clase virtual desde un aula informática equipada para ello y utilizando la herramienta prototipo durante una hora y media. Los alumnos utilizan auriculares y se distancian unos de otros para evitar la interacción directa. Asimismo, se toman notas de las actitudes que exhiben durante la clase.
- **Descanso:** se realiza una pausa de 20 minutos.

- Segunda parte: se continúa con otra clase virtual de una hora y quince minutos de duración de las mismas características que la anterior.

Tras la finalización de la experiencia, los alumnos rellenan un cuestionario anónimo en el que expresan su opinión acerca de diferentes cuestiones relacionadas con la clase virtual. Este cuestionario, que puede encontrarse en el apéndice B, está diseñado para obtener información de los siguientes temas:

- Datos personales: interesan para decidir si las posibles dificultades que se encuentren en el manejo de la herramienta tienen que ver con sus conocimientos informáticos. También es interesante conocer cuánto tiempo invierte cada alumno en los desplazamientos para asistir a las sesiones de clase presenciales.
- Interés por el tema del curso: cuanto menos interés muestre por los temas tratados durante la clase virtual peor percepción tendrá la herramienta que se utiliza para llevarlas a cabo.
- Valoración de la herramienta: permite obtener una visión global de la satisfacción del usuario en el uso de la herramienta, y obtener la métrica MOS para los medios continuos.
- Mejoras: tras la evaluación de la herramienta, se pide a los alumnos que propongan mejoras funcionales de la herramienta. Se deja esto para el final para que la valoración que hacen anteriormente les sirva para detectar funciones que echan en falta o dificultades que se encontraron.

Esta primera prueba piloto, sirve para plantear una serie de mejoras a la herramienta con vistas a los siguientes cursos a impartir con la misma. En posteriores pruebas, ya con los alumnos desde su casa o lugar de trabajo, la metodología será la misma, excepto que no es posible la observación de las actitudes de los alumnos frente al desarrollo de la clase. Una de las cuestiones que deben decidirse con el avance de las pruebas es si la duración de las sesiones es adecuada o excesiva.

Durante el desarrollo del proyecto de innovación, se tendrán en cuenta todos los comentarios y recomendaciones de alumnos y profesores para la mejora de la herramienta, de forma que la experiencia que obtengan los usuarios de la misma sea más satisfactoria cuanto más avanzado esté el proyecto.

5.3.3. Planificación

El proyecto de innovación tiene dos partes bien diferenciadas. Una primera parte, a desarrollar en el curso académico 2007–2008, está orientada a la conclusión del proceso de desarrollo de la herramienta prototipo junto con la realización de una experiencia piloto que permitirá apreciar las capacidades de dicha herramienta. Así, se definirán las necesidades adicionales que requiere, además de extraer las conclusiones que se deriven de su utilización por parte de los alumnos.

La primera parte del proyecto consta de varias tareas que se enumeran a continuación:

- Tarea 1: Coordinación. Es una tarea a desarrollar por el responsable del proyecto destinada a la gestión del mismo para que el trabajo de cada miembro del equipo esté dirigido a la consecución de unos objetivos comunes.
- Tarea 2: Estudios previos. Involucra el desarrollo de las encuestas a partir de las que se estimará la satisfacción de los alumnos en el uso de la herramienta. Además, será necesario formar mínimamente a todos los profesores en el uso de la misma de forma que puedan sacar provecho de toda su funcionalidad.

- Tarea 3: Experiencia piloto. Será una primera experiencia en el uso de la herramienta para comprobar la adaptación del instructor y los alumnos a la misma. Se realizará en un aula de informática previamente acondicionada en la que se podrá analizar el comportamiento de los alumnos con la herramienta durante el desarrollo de la sesión. A final de la misma, se les pasará una encuesta a los alumnos para recoger la información necesaria. Adicionalmente, se realizarán pequeñas entrevistas personales para concretar detalles.
- Tarea 4: Conclusiones iniciales. A partir de la experiencia piloto se podrán extraer conclusiones que implicarán mejoras en la herramienta así como aspectos positivos y negativos, útiles para posteriores aplicaciones de la misma. También se propondrán cambios en las encuestas elaboradas.
- Tarea 5: Desarrollo de e-pSylon. Consiste en el proceso de desarrollo de funcionalidad colaborativa adicional para la herramienta prototipo y su mejora en base a los resultados obtenidos en la experiencia piloto.
- Tarea 6: Mantenimiento de e-pSyLon. Representa la labor de mantenimiento de la herramienta corrigiendo errores e incluyendo pequeñas mejoras propuestas a partir de su uso generalizado.

La segunda parte del proyecto, a desarrollar en el curso 2008–2009, está dividida en varias tareas que se enumeran a continuación:

- Tarea 7: Acción tutorial IngComp. Consiste en la utilización de la herramienta de forma habitual para posibilitar las tutorías de grupos de alumnos que realizan trabajos en equipo dentro de la asignatura de *Ingeniería de Computadores*. Se realizarán al menos 3 tutorías con cada uno de los grupos.
- Tarea 8: Acción tutorial TecnoComp. Es la tarea equivalente a la anterior pero aplicada a la asignatura de *Tecnología de Computadores*. En ambas asignaturas se combinan tutorías presenciales y a distancia utilizando la herramienta. De esta forma, el cambio para los alumnos no resulta brusco. En cada una de las sesiones y a final de curso, se recoge información de los alumnos a través de encuestas y de observaciones del instructor acerca de la adaptación y la satisfacción de los alumnos en el uso de la herramienta.
- Tarea 9, 10 y 11: Sesiones T. Grid, Sesiones T. Servidores y Sesiones Multimedia. Consisten en el desarrollo de parte de las sesiones que componen los cursos de doctorado utilizando la herramienta. A la finalización de cada curso se debe recoger realimentación de los alumnos, principalmente a través de encuestas.
- Tarea 12: Conclusiones. Se evalúan los resultados del proyecto de innovación, indicando el impacto que ha supuesto el uso de la herramienta en la mejora de la experiencia docente tanto para instructores como alumnos. Además, se valorará el posible uso de la herramienta en otras asignaturas y situaciones.

La planificación temporal de cada una de las tareas que componen el proyecto aparece reflejada en el cronograma de la figura 5.8.

5.3.4. Resultados esperados

Una vez finalizado el desarrollo del proyecto, se contará con una herramienta software que permitirá, a través de la red Internet, desarrollar actividades formativas en tiempo real que vengán a complementar las sesiones presenciales dentro de los cursos impartidos en el tercer ciclo. Además, dicha herramienta ofrecerá funcionalidades para el trabajo colaborativo, lo que

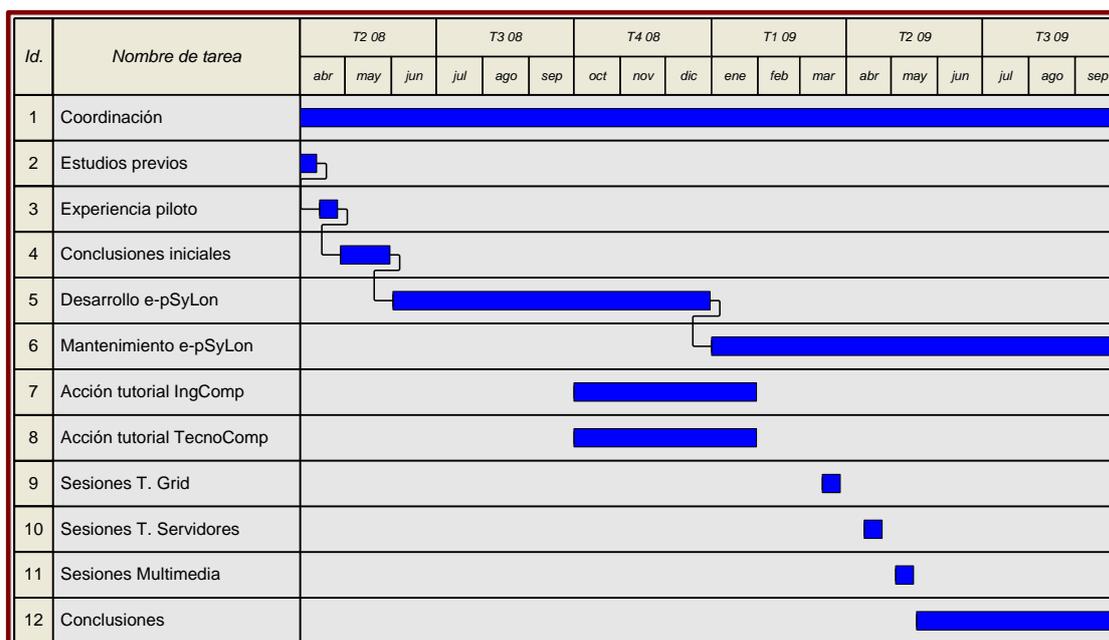


Figura 5.8: Tareas del proyecto de innovación docente e-pSylon

ayudará en la acción tutorial que deben ejercer los instructores, especialmente sobre grupos de alumnos trabajando en equipo.

Varios son los resultados esperados a la finalización del proyecto. Por un lado, la asistencia de los alumnos a las sesiones de los cursos de doctorado será mayor, puesto que se les ofrece la posibilidad de asistir a las mismas de forma remota, con lo que se evitan desplazamientos innecesarios, pudiendo participar incluso desde su centro de trabajo. Por otro, es esperable que la utilización por parte de los alumnos del horario de tutorías sea mayor que la actual, prácticamente nula, ya que la participación en grupo y la interacción en tiempo real ayudarán a romper barreras entre instructor y alumnos. Será especialmente notorio este efecto a la hora de realizar el seguimiento del trabajo de los alumnos organizados en grupo, fortaleciendo la cohesión del grupo y fomentando las técnicas de trabajo en equipo.

5.4. Resultados obtenidos

Hasta la fecha, se ha realizado una prueba piloto en uno de los cursos de doctorado, titulado *Tecnologías avanzadas para servidores de Internet*, con 4 alumnos. Consistió en la impartición de la primera sesión del curso utilizando la herramienta prototipo.

En la primera parte de la prueba, inicialmente, los alumnos mostraban una actitud pasiva ante el discurrir de la clase. La posición habitual era de brazos cruzados observando la pantalla y escuchando las explicaciones del profesor en silencio. Pasados 10 minutos, algún alumno comenzó a explorar las opciones de la herramienta.

En general, el nivel de interacción en la clase fue bajo, especialmente durante la primera parte de la prueba, fomentado también por el tipo de clase que se realizó: la sesión inicial de un curso donde se avanzan los contenidos a tratar siguiendo una metodología meramente expositiva; con lo cual la metodología usada no favorecía la interacción en la clase.

Una vez analizadas las respuestas de los alumnos a las encuestas, pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- Todos los alumnos presentan un perfil parecido: estudiante menor de 30 años con elevados conocimientos en informática. De esto se deducen dos cosas:
 - En principio, ninguno de los alumnos debería encontrar dificultades a la hora de trabajar con el prototipo, más si cabe teniendo en cuenta el perfil de usuario que se consideró durante el desarrollo del prototipo: un empleado con bajos conocimientos de informática y una alto escepticismo antes las nuevas tecnologías. De cualquier forma, que este tipo de usuarios no encuentren difícil el uso de la herramienta no quiere decir que un usuario medio tampoco la encontraría.
 - Dado su conocimiento de las herramientas informáticas más comunes, las propuestas que realicen para mejorar la experiencia en el manejo del prototipo probablemente resultaran interesantes y factibles.
- Todos los alumnos se desplazan una media 10 minutos para asistir a las sesiones presenciales y sin embargo, consideran el uso de este tipo de herramientas adecuado para la impartición de estos cursos; todos estarían interesados en utilizar la herramienta para participar en las clases de forma remota.
- En general, los alumnos reconocen un grado elevado de interés por los contenidos del curso, por lo que se descarta un impacto negativo en la valoración de la herramienta.
- Ninguno de los alumnos utilizó las anotaciones o el puntero virtual para plantear preguntas al profesor o a sus compañeros, aunque los creen útiles. No obstante, como se mencionó anteriormente, esto puede ser debido al tipo de clase que se llevó a cabo.
- Alguno de ellos encontró problemas a la hora de plantear cuestiones al profesor al verse obligado a utilizar mensajes de texto. Esto puede ser un indicativo de por qué la interactividad fue baja.

Por otra parte, las métricas MOS obtenidas a partir de las opiniones de los usuarios otorgan un 5 para el audio y un 5 para el vídeo, sin embargo estas medidas no son significativas por dos motivos:

- Entorno controlado: la prueba se realizó dentro de la misma red local con un ancho de banda teórico de 100 Mbps. Gracias a ese ancho de banda disponible, se utilizó una calidad elevada para codificar los medios. En concreto, el audio se codificó con un codec de banda ancha similar al MP3 y el vídeo con un codec VC-1 a 30 cuadros por segundo y con una resolución de 320x240.
- Número de usuarios bajo: el número de alumnos es bajo en relación con el número necesario para que los resultados fueran significativos.

Esta primera prueba piloto, sirve para plantear una serie de mejoras a la herramienta con vistas a los siguientes cursos a impartir bajo la misma. En concreto, los alumnos plantearon las siguientes mejoras:

- Audio bidireccional: los alumnos echan en falta el canal de audio para plantear sus dudas al profesor. Esto daría lugar a una aplicación más interactiva.
- Ventana para tomar apuntes: durante el discurso del profesor puede ser conveniente para los alumnos disponer de una ventana donde puedan tomar notas de la explicación del profesor.

- Notificación de escritura de un mensaje: un alumno cree necesario un mecanismo que permita conocer cuándo un participante está componiendo un mensaje a través del chat. De esta forma, el profesor sabe que un alumno está redactando, posiblemente, una pregunta y espera para continuar la clase. Asimismo, haría falta una notificación cuando un mensaje llegue, a través de un color distinto o un sonido identificativo.

Desde el punto de vista del profesor, la clase le supuso un esfuerzo grande, por el carácter expositivo de la misma y la baja interacción con los usuarios. Además, al principio de la primera parte le resultó muy frustrante no poder ver ni oír a los alumnos, por la sensación de aislamiento que esto le producía. Se hace más necesario si cabe permitir otro tipo de realimentación, preferentemente audio o vídeo, además del chat, las anotaciones y el puntero virtual; que permitan al profesor certificar la presencia de los alumnos durante la clase. En principio, es preferible permitir el uso del audio de forma bidireccional frente al vídeo, ya que, aunque el efecto en la sensación del presencia de los alumnos en el instructor es menor, se obtienen otros beneficios, como anteriormente se expusieron, como la posibilidad de que los alumnos puedan plantear preguntas a través del canal de audio.

Capítulo 6

Conclusiones y trabajo futuro

En la presente tesis se analiza en profundidad la caracterización y desarrollo de sistemas multimedia interactivos como soporte de procesos de e-learning síncrono, cuando se aplican a la capacitación de personal dentro de una gran corporación. Gracias al prototipo de sistema de e-learning síncrono desarrollado y a la metodología de diseño propuesta para el mismo, basada en un proceso iterativo de evaluación de alternativas y optimización, se sientan las bases para futuros desarrollos y mejoras de este tipo de sistemas, con funcionalidades adicionales que permitan ampliar su ámbito de aplicación.

En este capítulo se resumen los objetivos alcanzados y se discuten las posibles líneas de investigación que se pueden derivar de esta tesis.

6.1. Objetivos alcanzados

A continuación, se describen los objetivos alcanzados con esta tesis doctoral de forma desglosada:

- Caracterización de las herramientas multimedia de e-learning síncrono, para lo cual se analizó un buen número de herramientas comerciales y también las desarrolladas en el ámbito de la investigación.
- Especificación de los requisitos funcionales generales de una herramienta multimedia de e-learning síncrono, y de los requisitos específicos de una herramienta de este tipo cuando se aplica al e-training de personal dentro de grandes corporaciones.
- Diseño de la arquitectura de un prototipo de herramienta multimedia de e-learning síncrono a partir de los requisitos específicos que debe satisfacer una herramienta de este tipo para la capacitación de personal.
- Evaluación de las posibles alternativas de diseño para cada uno de las una de las funcionalidades necesarias en una herramienta multimedia de e-learning síncrono, previo análisis de todas las tecnologías implicadas.
- Selección de las alternativas óptimas a todos los niveles de diseño del prototipo para el caso concreto de aplicación dentro de una gran corporación con un perfil de usuarios determinado.
- Implementación de un prototipo de herramienta multimedia a partir de los requisitos mínimos deducidos de la caracterización de las herramientas de e-learning síncrono.

En la verificación del diseño planteado a través del prototipo desarrollado se han realizado diferentes pruebas sobre la red corporativa de ArcelorMittal, como ejemplo de gran corporación, con resultados satisfactorios. De igual forma, se está llevando a cabo actualmente un proyecto de innovación docente utilizando el prototipo desarrollado, consistente en el fomento de la asistencia a cursos de doctorado mediante la impartición de parte de las clases con esta herramienta de

e-learning síncrono. Durante el desarrollo del proyecto, se están obteniendo medidas cualitativas de la satisfacción de los usuarios en la utilización del prototipo, lo que está permitiendo refinar el diseño inicial para llegar a un diseño final optimizado.

6.2. Líneas de investigación futuras

El e-learning, tanto en su versión síncrona como asíncrona, es un campo de investigación que involucra gran cantidad de disciplinas: informática, pedagogía, psicología, sociología, antropología, etnografía, etc. Aunque es un campo maduro en el que se han venido realizando grandes esfuerzos, aún queda trabajo por hacer.

La presente tesis se ha focalizado en los aspectos relacionados con las tecnologías multimedia como soporte de procesos de e-learning síncrono. El ámbito de aplicación seleccionado es muy concreto, la capacitación del personal en grandes corporaciones. Si bien es tesis se centra en este ámbito concreto, se pueden plantear algunas líneas de investigación futuras orientadas a un campo de actuación más general:

- Adaptación de la metodología y el proceso de optimización para su aplicación en un campo más general que el estrictamente corporativo. De esta forma, será posible diseñar una herramienta de e-learning síncrono que satisfaga de forma óptima necesidades específicas de formación a distancia.
- Aplicación de técnicas de valoración objetiva de la calidad de la información multimedia recibida y su influencia sobre el proceso de aprendizaje. Sería necesario definir unas métricas que relacionen la calidad de los diferentes medios (audio, vídeo, presentación de contenidos, anotaciones...) con el grado de retención de los conocimientos por parte de los alumnos.
- Análisis de la integración de las plataformas de e-learning síncrono con sistemas de tipo VoIP, IPTV o TDT con objeto de ampliar las posibilidades de difusión de dichas plataformas, dando como resultado la definición de una metodología completa de integración.
- Estudio de las técnicas para fomentar la sensación de presencia. La sensación de aislamiento constituye uno de los grandes lastres del e-learning. Es necesario profundizar en mecanismos que permitan aumentar la sensación de co-presencia entre los participantes en las sesiones. Esto puede involucrar desde videconferencias multipunto hasta entornos inmersivos 3D. Este último caso constituiría otra dimensión de presencia, pues cada usuario podría participar en las sesiones a través de su avatar.
- Análisis de las alternativas para la sincronización de todos los medios con los que trabaja una herramienta de e-learning síncrono, incluyendo los medios no continuos. Esto tendría como resultado la definición de un conjunto de algoritmos de sincronización que permitirán adaptar los buffers de reproducción de todos los medios para una reproducción síncrona.
- Evaluación de las técnicas de control de la congestión cuando se transportan medios discretos como presentaciones de contenidos en lugar de requerir una descarga previa de los mismos. Se definirían técnicas para el transporte de datos TCP-friendly y se podría evaluar cuál es el impacto de este tipo de transporte sobre la red subyacente y otros tipos de tráfico.
- Definición de una metodología para el establecimiento de un modelo de servicio para una plataforma de e-learning síncrono. Determinará cómo deben configurarse los elementos de la red: herramienta *peer-to-peer*, servidor de medios, servidores en cascada, etc.; para proporcionar un nivel de calidad de servicio determinado.

Apéndices

Apéndice A

Red corporativa de ArcelorMittal

ArcelorMittal es la primera empresa productora de acero del mundo que surgió tras sucesivos procesos de fusión hasta terminar en el año 2006 con la unión de las dos primeras empresas del acero en su momento: *Arcelor* y *MittalSteel*. Está presente en Europa, Asia, África y América y sus nichos de negocio incluyen la automoción, la construcción, los electrodomésticos y los envases.

Actualmente, ArcelorMittal tiene en Asturias un centro de formación encargado del diseño, planificación e impartición de las actividades conducidas a la formación continua de los recursos humanos de la empresa a nivel nacional. Este centro, situado en la localidad de La Toba, da servicio a todas las factorías en Asturias, ubicadas en Gijón y Avilés principalmente. Así, la distancia máxima que debe recorrer un empleado para dirigirse al centro de formación ronda las pocas decenas de kilómetros.

Hasta ahora, la gran mayoría de los cursos se han venido impartiendo de forma presencial en aulas tradicionales del centro a través de clases magistrales. Esto suponía un alto coste, tanto en horas laborales perdidas por los empleados como en el mantenimiento de un buen número de aulas en el centro de formación para permitir la simultaneidad de varios cursos.

El principal inconveniente al que debe hacer frente el departamento de formación es el alto rechazo que presentan los empleados de mayor edad frente a las nuevas tecnologías. Este rechazo es más acusado cuanto mayor es la edad de los empleados. De esta forma, una de las principales decisiones a tomar en la planificación de una actividad formativa es decidir la modalidad de impartición de la misma, o bien presencial o bien a distancia, incluso una combinación de ambas, en función del tipo de empleado y de su formación previa, especialmente en relación a las nuevas tecnologías. Por tanto, habrá que combinar adecuadamente formación presencial con formación a distancia.

En este contexto, para completar la oferta de modalidades de enseñanza de que disponía el departamento de formación, se planteó la posibilidad de portar las actividades que se desarrollaban bajo una metodología meramente expositiva desde un ámbito presencial a uno no presencial. Para ello, fue necesario el diseño y posterior implementación de una plataforma de e-learning síncrono que sirve de base al presente trabajo. A partir de entonces, sobre esta plataforma se desarrollan todos aquellos cursos que, tradicionalmente, se llevan a cabo en aulas del centro de formación en los que no es necesario la manipulación de material o equipamiento específico.

A.1. Red corporativa

El Grupo ArcelorMittal dispone de multitud de delegaciones dispersadas, en su mayoría, por el continente europeo. Así, tendremos delegaciones en España, Francia, Bélgica y Luxemburgo.

Con el fin de intercomunicar las diferentes delegaciones entre sí, se dispone de una red de área extensa para cubrir los diferentes países. Desde el año 2005 esta red sigue una arquitectura *Multi-Protocol Label Switching* (MPLS) [Rosen *et al.*, 2001] que, básicamente, consiste en que todos los nodos de la red se comunican con todos, en lugar de las tradicionales líneas punto a punto, cuya tecnología se ha demostrado obsoleta para la cantidad de tráfico que mueven las redes modernas.

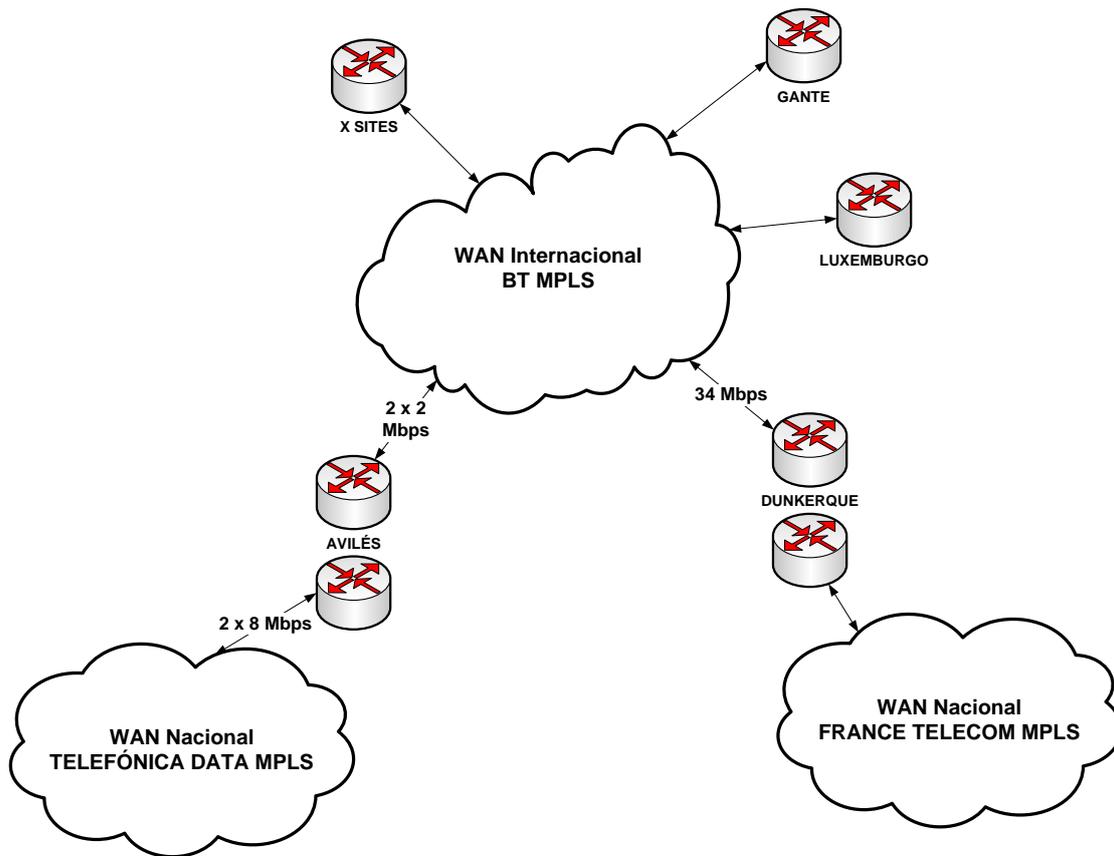


Figura A.1: Red MPLS global de ArcelorMittal en Europa

Además de la red MPLS a nivel global, existen redes MPLS en cada país europeo en que ArcelorMittal tiene presencia y que conectan las diferentes delegaciones repartidas en la misma geografía nacional. Se puede decir que la arquitectura de la red está centrada en los nodos de tránsito que comunican las redes MPLS nacionales con la red MPLS global.

Existen otro tipo de redes dentro de ArcelorMittal cuya arquitectura no se va a tener en cuenta. Éstas son las redes de proceso, necesarias para que el grupo realice su actividad industrial, pero que caen fuera del ámbito del presente trabajo.

A.1.1. Red MPLS internacional

Desde un punto de vista *top-down*, existe una red global que abarca todo ArcelorMittal en Europa y que permite interconectar el resto de redes que mantiene la compañía. En la figura A.1 aparece reflejada la arquitectura de esta red global. También se reflejan algunos de los nodos conectados a esta red WAN junto con sus anchos de banda disponibles. En sitios diferentes.

La tecnología que se utiliza para conectar cada uno de los nodos a la red global a la red MPLS es, principalmente, alguna de las siguientes:

- Frame relay.
- ATM.

- ADSL.

Hay que tener en cuenta también que todos los nodos que se conectan a esta red global están considerados críticos por el mero hecho de que conectan diferentes redes MPLS. De esta manera, centralizan todo el tráfico que fluye desde las redes nacionales a la red internacional. Por ello, la mayoría de estos sitios disponen de doble conexión con doble router dispuestos en una de las siguientes configuraciones:

- Redundancia: Uno de los routers trabajará mientras que el otro no entrará en servicio hasta que el primero deje de funcionar.
- Balanceo de carga: Ambos routers trabajarán al mismo tiempo repartiéndose el tráfico.

Para el caso que más nos interesa, en concreto Avilés, que es donde se encuentra el centro de formación de La Toba, será el nodo que comunicará la red MPLS española a la red global por medio de una doble conexión de 2 Mbps dispuestas en balanceo de carga. Así, dispondremos de un ancho de banda efectivo de 4 Mbps comunicando Avilés con la red internacional de Arcelor. El problema que existe es que, en realidad, sólo podremos disponer de un tráfico de 2 Mbps de salida desde Avilés hacia la MPLS global y, de ese ancho de banda, actualmente se encuentra utilizado al 50 %, por lo que, en la práctica, únicamente tendremos disponible un ancho de banda de 1 Mbps.

Además de los posibles cuellos de botella, en la red internacional existen otros problemas que habría que tener presentes:

1. Latencia de la red: Diferentes pruebas que se han realizado sobre la red han arrojado valores de la latencia que hacen muy complicado implantar una solución con altos requerimientos de tiempo real. Así, en la tabla A.1 se indican las latencias medidas.

Tabla A.1: Latencias de red medidas dentro de la red de ArcelorMittal

Nodo 1	Nodo 2	Latencia (milisegundos)
Avilés	Dunkerque	60
Madrid	Dunkerque	100
Madrid (horario oficina)	Dunkerque	140 – 150

2. Multicast global: La implementación de un mecanismo de multicast a nivel global dentro de la red MPLS internacional puede considerarse casi imposible, puesto que cada segmento de la red es administrado por distintos encargados con diferentes requerimientos de red para con sus equipos. Así, no parece fácil, a priori, una solución de multicast a escala global. En de las redes nacionales, el transporte multicast se habilita por edificios, luego sí es posible una solución utilizando transporte multicast a nivel nacional.
3. Cuello de botella Avilés - MPLS internacional: Debido al relativamente escaso ancho de banda en la conexión de Avilés con la WAN internacional, y a que el servidor de la plataforma estará ubicado en Avilés, puede ser complicado escalar la plataforma más allá del territorio nacional.

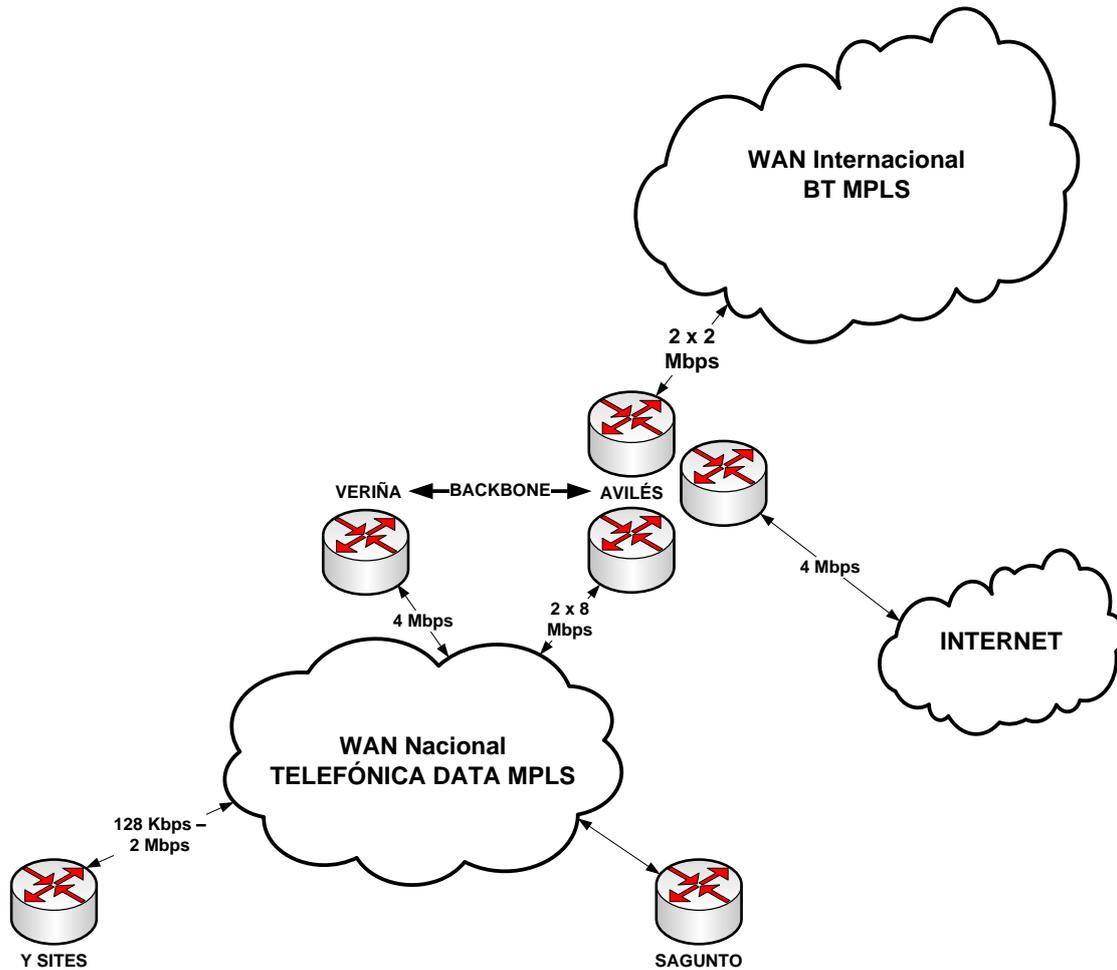


Figura A.2: Red MPLS de ArcelorMittal en España

A.1.2. Redes MPLS nacionales

Como se comentó anteriormente, existirá una red MPLS nacional en cada uno de los países en que ArcelorMittal tenga delegaciones. Por consiguiente, tomaremos la red MPLS española como ejemplo que será extrapolable al resto de redes nacionales.

En la figura A.2 se representa la red MPLS española junto con el nodo que servirá de enlace con la MPLS internacional.

Cada uno de los sitios que se conectarán a la red MPLS nacional puede ser muy variopinto: desde un simple equipo con una conexión ADSL, a una oficina con cientos de puestos de trabajo. Para el caso español, a la red MPLS se conectarán en torno al centenar de sitios y los anchos de banda de sus conexiones oscilarán entre 128 Kbps y 2 Mbps excepto para los casos de Avilés y Veriña. Para estos últimos, sus anchos de banda serán de 16 y 4 Mbps respectivamente. En el caso concreto de Avilés, esos 16 Mbps se dispondrán en una conexión de 8 Mbps para cada sentido.

Si bien la estructura de una red MPLS especifica una comunicación todos con todos, en la

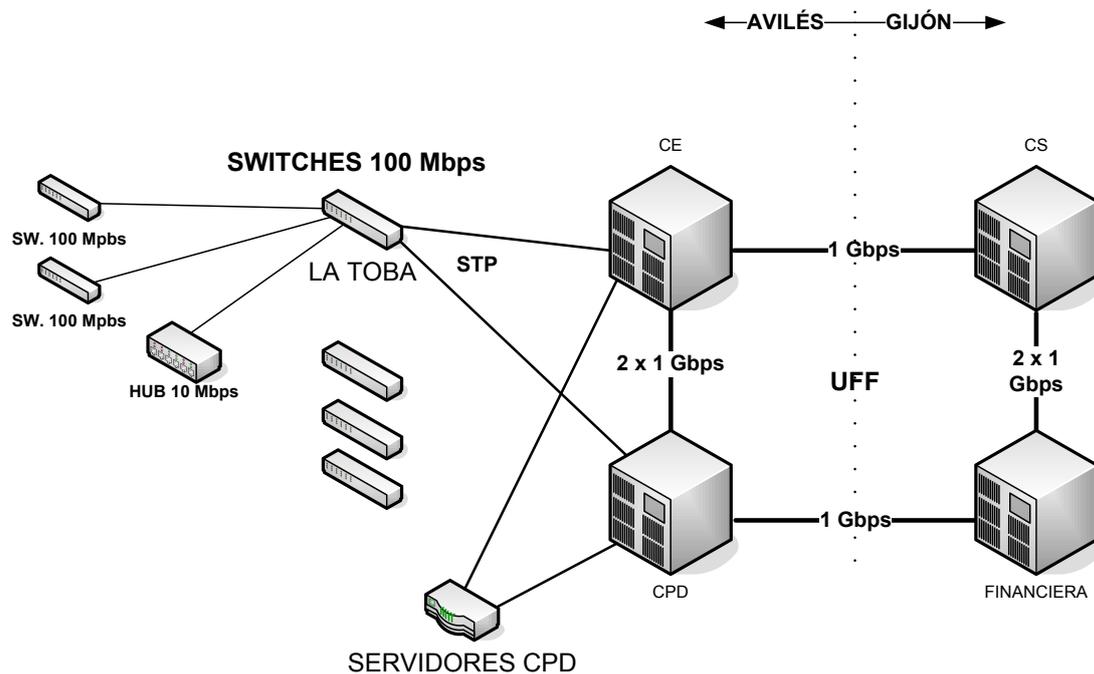


Figura A.3: Backbone entre las factorías de Avilés y Veriña

MPLS española, en la práctica, se producirá una comunicación Todos - Avilés, puesto que los servidores están ubicados en Avilés y la mayoría del tráfico de red será debido a comunicaciones cliente/servidor.

Centrándonos en la comunicación entre Avilés y Veriña, podría pensarse que el tráfico entre ambos nodos se realizaría a través de la red MPLS nacional. Si bien es posible, con el fin de ahorrar ancho de banda en la red MPLS, se utilizará, aprovechando las infraestructuras disponibles, una conexión directa entre Avilés y Veriña que denominaremos el *backbone*.

Por otra parte, existe en Avilés también, un punto de salida a la red Internet cuyo ancho de banda disponible es de 4 Mbps.

A.1.3. Backbone Avilés - Veriña

Además de la conexión que existe entre Avilés y Veriña a través de la red MPLS nacional, se dispondrá de una red dedicada que conectará ambos nodos fuera de la red MPLS.

En la figura A.3 puede verse una representación de la línea punto a punto que se establece entre Avilés y Veriña. Como puede apreciarse, el enlace punto a punto se implementa con una doble línea de fibra óptica de 1 Gbps cada una que seguirán una configuración en balanceo de carga. Es por esto que podremos considerar que existe una única línea de 2 Gbps efectivos.

En ambos extremos de las fibras se situarán 2 switches Cisco 6500 de nivel 3 en el caso de Avilés, y otros dos switches Cisco 4500 de nivel 3 en el caso de Veriña. Entre los dos switches del mismo extremo de la línea existirá una doble conexión de 1 Gbps.

Por otra parte, existirán diferentes nodos que se corresponderán con diferentes edificios y que deberán comunicarse con los switches para formar parte de la red. Deberán establecer una conexión con sus correspondientes dos switches. De esta forma, se podrá estimar que ambos switches

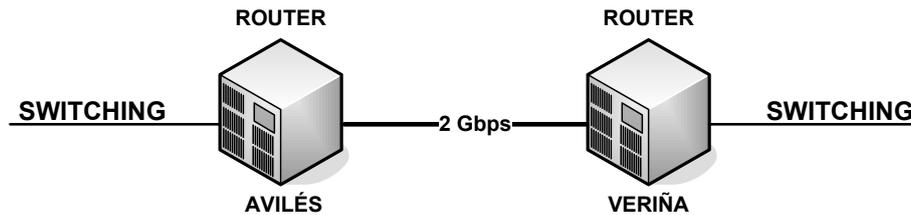


Figura A.4: Modelo simplificado del backbone entre las factorías de Avilés y Veriña

se comportarán como uno solo.

Como ejemplo representativo de nodo que debe conectarse al backbone puede considerarse el edificio de La Toba. Éste es importante porque, habitualmente, el profesor que impartirá las sesiones de e-learning se encontrará en este edificio. Para ello, se localizará allí un switch Cisco 3600 a 100 Mbps que comunicará el edificio con los dos switches de nivel 3. Existirán switches parecidos para cada uno de los nodos a conectar al backbone. En 1 año, está planificado que la conexión de 100 Mbps que une La Toba con *Arcelor Technologies* (donde se ubican los dos switches Cisco 6500 y el CPD) pase a ser de 1 Gbps.

Dentro del edificio existirán una serie de switches y hubs. En el peor de los casos, el profesor que impartirá la clase se encontrará conectado a un hub de 10 Mbps. En ese caso, la solución vendría por cambiar el hub al que se conecta por un switch a 100 Mbps.

Gracias a la disposición de los diferentes elementos del backbone puede considerarse que entre Avilés y Veriña existe una conexión de red local en la que el enrutado se realiza en los switches de nivel 3 y en el resto de nodos se realizaría únicamente switching. Así, el backbone puede simplificarse en un modelo como el que aparece en la figura A.4.

Por otro lado, todo el proceso de administración del backbone se encuentra centralizado lo que tiene varias implicaciones, entre ellas, es más fácil de implantar:

- las políticas de Multicast / Broadcast.
- la calidad de servicio.

Además, en la actualidad, el ancho de banda total disponible en el backbone está infrautilizado. En concreto, sólo un 1% está siendo utilizado por lo que el único problema que podría aparecer en el transporte de los datos dentro del backbone sería hacerlos llegar al usuario final, puesto que sería en ese punto donde podrían aparecer cuellos de botella.

A.1.4. Calidad de Servicio (QoS)

Dentro de las redes MPLS que interoperan en ArcelorMittal en Europa la calidad de servicio está poco implementada. En principio, se hace uso de una política de servicios diferenciados [Blake *et al.*, 1998] y [Wu *et al.*, 2002] en la que se definen varias clases de tráfico que circula por la red. Ordenadas de menor a mayor prioridad, éstas son:

1. Bronce: Será el tráfico de menor prioridad.
2. Plata: Casi todo el tráfico que circula por la red será de este tipo.
3. Oro.
4. Multimedia: Pensado originalmente para VoIP.

Apéndice B

Encuestas

En este apéndice se muestran las encuestas utilizadas para la extracción de información de los alumnos tras su participación en una sesión de e-learning síncrono utilizando la herramienta prototipo.

Para extraer la información de los instructores, se realizan entrevistas individuales sin preguntas cerradas. Se deja al instructor comentar aquellas cuestiones que le han resultado más difíciles de afrontar o aquella funcionalidad que ha encontrado más útil.

B.1. Encuestas para los alumnos

La encuesta que aquí se presenta se realizó sobre los alumnos del curso de doctorado *Tecnologías avanzadas para servidores de Internet*, impartido por el profesor Manuel García, en el ámbito del proyecto de innovación docente en que está siendo utilizado el prototipo desarrollado en la presente tesis.

e-pSyLon. Tecnologías avanzadas para servidores de Internet

e-pSyLon

Manuel García

1. Datos personales.

(a) Sexo:

Varón Mujer

(b) Edad: _____ años.

(c) Población: _____ .

(d) Para asistir a las sesiones del curso invertí _____ minutos de viaje.

(e) Titulación cursada:

Ingeniero en Informática Otra _____

2. Valoración de diferentes aspectos de la clase.

(a) Interés sobre el tema del que trata el curso:

1 (Nada) 2 3 4 5 (Mucho)

(b) ¿Se te hizo larga la clase?

1 (Nada) 2 3 4 5 (Mucho)

(c) El profesor respondió de forma adecuada a las preguntas planteadas:

1 (Nada) 2 3 4 5 (Mucho)

(d) Aspectos a mejorar del curso:

3. Valoración de la herramienta utilizada para impartir el curso.

(a) ¿Te ha resultado sencillo el manejo de la herramienta?

1 (Nada) 2 3 4 5 (Mucho)

(b) ¿La utilización de la herramienta te ha facilitado el seguimiento de la clase o lo ha entorpecido?

1 (Entorpecido) 2 3 4 5 (Facilitado)

(c) ¿Has encontrado limitaciones para plantear dudas al profesor?

1 (Ninguna) 2 3 4 5 (Muchas)

(d) ¿Qué limitaciones te has encontrado para plantear dudas al profesor?

(e) ¿Crees adecuado el uso de la herramienta a la impartición de estos cursos?

1 (Nada) 2 3 4 5 (Mucho)

- (f) ¿Estarías dispuesto/a a participar en las clases desde casa o desde el trabajo de forma remota utilizando esta herramienta?
- 1 (Nada) 2 3 4 5 (Mucho)
- (g) ¿Cuál te parece que es la calidad del audio que recibías del profesor?
- 1 (Pésima) 2 3 4 5 (Excelente)
- (h) ¿Cuál te parece que es la calidad del vídeo?
- 1 (Pésima) 2 3 4 5 (Excelente)
- (i) ¿Has utilizado el chat durante la clase?
- Sí No
- (j) ¿Qué utilidad le ves al chat para plantear dudas al profesor?
- 1 (Ninguna) 2 3 4 5 (Mucha)
- (k) ¿Has utilizado las anotaciones durante la clase?
- Sí No
- (l) ¿Qué utilidad le ves a las anotaciones para facilitar el seguimiento de la clase?
- 1 (Ninguna) 2 3 4 5 (Mucha)
- (m) ¿Qué utilidad le ves a las anotaciones para plantear dudas al profesor?
- 1 (Ninguna) 2 3 4 5 (Mucha)
- (n) ¿Has utilizado el puntero virtual durante la clase?
- Sí No
- (ñ) ¿Qué utilidad le ves al puntero virtual para facilitar el seguimiento de la clase?
- 1 (Ninguna) 2 3 4 5 (Mucha)
- (o) ¿Qué utilidad le ves al puntero virtual para plantear dudas al profesor?
- 1 (Ninguna) 2 3 4 5 (Mucha)
- (p) ¿Echas de menos alguna funcionalidad en la herramienta?
- Sí No
- (q) Si contestaste “Sí” en la cuestión (p), ¿cuál es la funcionalidad que añadirías?
- (r) En general, ¿qué grado de satisfacción te ha proporcionado el uso de la herramienta?
- 1 (Nada) 2 3 4 5 (Completo)
- (s) ¿Qué mejorarías de la herramienta?

Bibliografía

- J. Adams, B. Rogers, S. Hayne, G. Mark, J. Nash y L. Leifer (2005). The effect of a telepointer on student performance and preference. *Comput Educ*, **44**(1):págs. 35–51.
- Adobe (2008). Información de la herramienta *Acrobat Connect Professional*. <http://www.adobe.com/products/acrobatconnectpro>.
- S. Andersen, A. Duric, H. Astrom, R. Hagen, W. Kleijn y J. Linden (2004). Internet Low Bit Rate Codec (iLBC). RFC 3951, Internet Engineering Task Force.
- R. Anderson, R. Anderson, B. Simon, S. Wolfman, T. VanDeGrift y K. Yasuhara (2004). Experiences with a tablet PC based lecture presentation system in computer science courses. En *Proceedings of the Thirty-Fifth SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education*, págs. 56–60. Norfolk, VA.
- R. Anderson, R. Anderson, P. Davis, N. Linnell, C. Prince, V. Razmov y F. Videon (2007). Classroom presenter: Enhancing interactive education with digital ink. *Computer*, **40**(9):págs. 56–61.
- F. Andreassen (2002). Session Description Protocol (SDP) Simple Capability Declaration. RFC 3407, Internet Engineering Task Force.
- AT&T (2008). Información de la herramienta *Connect*. http://www.interwise.com/att_connect.html.
- M. Baugher, D. McGrew, M. Naslund, E. Carrara y K. Norrman (2004). The Secure Real-time Transport Protocol (SRTP). RFC 3711, Internet Engineering Task Force.
- S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang y W. Weiss (1998). An Architecture for Differentiated Services. RFC 2475, Internet Engineering Task Force.
- J.-C. Bolot y A. Vega-Garcia (1996). Control mechanisms for packet audio in the Internet. *INFOCOM '96. Fifteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer Societies. Networking the Next Generation. Proceedings IEEE*, **1**:págs. 232–239 vol.1.
- C. Bouras, A. Gkamas, V. Kapoulas y K. Stamos (2002). Desktop synchronous distance learning application enhanced with efficient chair control capabilities. En *Proc. International Conf. on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA'02)*, págs. 1158–1164. Las Vegas, NV, USA.
- J. A. Boyd (1996). *Floor Control in Synchronous Groupware*. Tesis Doctoral, The Ohio State University.
- R. Braden, D. Clark y S. Shenker (1994). Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview. RFC 1633, Internet Engineering Task Force.
- R. Braden, L. Zhang, S. Berson, S. Herzog y S. Jamin (1997). Resource ReSerVation Protocol (RSVP) – Version 1 Functional Specification. RFC 2205, Internet Engineering Task Force.

- J. Bu, B. Jiang, J. Yang y C. Chen (2006). Telepointer motion prediction in real-time internet-based collaborative graphics editing systems. En *2006 10th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design, CSCWD 2006*, págs. 529–533. Nanjing.
- V. Bush (1945). As we may think. *The Atlantic Monthly*, **176**(1):págs. 101–108.
- B. Cain, S. Deering, I. Kouvelas, B. Fenner y A. Thyagarajan (2002). Internet Group Management Protocol, Version 3. RFC 3376, Internet Engineering Task Force.
- P. Calhoun, J. Loughney, E. Guttman, G. Zorn y J. Arkko (2003). Diameter Base Protocol. RFC 3588, Internet Engineering Task Force.
- G. Camarillo (2006). Session Description Protocol (SDP) Format for Binary Floor Control Protocol (BFCP) Streams. RFC 4583, Internet Engineering Task Force.
- G. Camarillo, J. Ott y K. Drage (2006). The Binary Floor Control Protocol (BFCP). RFC 4582, Internet Engineering Task Force.
- M. A. Cambre (1991). *Instructional Technology Past, Present, and Future*, cap. The State of the Art of Instructional Television, págs. 267–275. Englewood, CO: Libraries Unlimited.
- S. Casner y P. Hoschka (2003). MIME Type Registration of RTP Payload Formats. RFC 3555, Internet Engineering Task Force.
- S. Casner y V. Jacobson (1999). Compressing IP/UDP/RTP Headers for Low-Speed Serial Links. RFC 2508, Internet Engineering Task Force.
- K. Chassie (2002). The allure of e-learning. *IEEE Potentials*, **21**(3):págs. 33–35.
- C. Cheal (2007). Second life: Hype or hyperlearning? *Horizon*, **15**(4):págs. 204–210.
- T. Chen (2004). Stepping Up . . . And Out. *Multimedia, IEEE Transactions on*, **6**(6):págs. 785.
- C. Chenghung, D. Kodman, C. Chassapis y S. Esche (2007). Immersive collaborative laboratory simulations using a game engine. *Comput. Educ. J.*, **17**(3):págs. 85–92.
- W. Chisholm, G. Vanderheiden y I. Jacobs (1999). Web Content Accessibility Guidelines.
- H. Chong y H. Matthews (2004). Comparative analysis of traditional telephone and Voice-over-Internet Protocol (VoIP) systems. En *Proceedings of the 2004 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, págs. 106–111. Scottsdale, AZ.
- M. Civanlar y G. Cash (2000). RTP Payload Format for Real-Time Pointers. RFC 2862, Internet Engineering Task Force.
- A. Collins, J. S. Brown y S. Newman (1989). *Knowing, Learning, and Instruction: Essays in Honor of Robert Glaser*. Lawrence Erlbaum Associates.
- F. Cuervo, N. Greene, A. Rayhan, C. Huitema, B. Rosen y J. Segers (2000). Megaco Protocol Version 1.0. RFC 3015, Internet Engineering Task Force.
- I. Dalgic y H. Fang (1999). Comparison of H.323 and SIP for IP telephony signaling. En A. G. Tescher, B. Vasudev, V. M. Bove y B. Derryberry, eds., *Proc. SPIE Vol. 3845, p. 106-122, Multimedia Systems and Applications II, Andrew G. Tescher; Bhaskaran Vasudev; V. Michael Bove; Barbara Derryberry; Eds.*, págs. 106–122.
- M. Dastbaz (2002). *Designing Interactive Multimedia Systems*. McGraw-Hill Education. ISBN 0-077-09863-3.

- S. Deshpande y J.-N. Hwang (1999). An interactive virtual classroom-multimedia distance learning system. *Multimedia Signal Processing, 1999 IEEE 3rd Workshop on*, págs. 575–580.
- S. Deshpande y J.-N. Hwang (2001). A real-time interactive virtual classroom multimedia distance learning system. *IEEE Trans Multimedia*, **3**(4):págs. 432–444.
- H.-P. Dommel y J. Garcia-Luna-Aceves (1997). Floor control for multimedia conferencing and collaboration. *Multimedia Syst*, **5**(1):págs. 23–38.
- A. Duric y S. Andersen (2004). Real-time Transport Protocol (RTP) Payload Format for internet Low Bit Rate Codec (iLBC) Speech. RFC 3952, Internet Engineering Task Force.
- J. Dyck, C. Gutwin, S. Subramanian y C. Fedak (2004). High-performance telepointers. En *Computer Supported Cooperative Work - Conference Proceedings, CSCW 2004*, págs. 172–181. Chicago, IL.
- J. F. Ebersole (2007). Bridging a national knowledge gap. *Distance learning today*, **1**(3):págs. 1–3.
- Illuminate (2008). Información de la herramienta *Live!* <http://www.illuminate.com>.
- M. Elsom-Cook (2001). *Principles of Interactive Multimedia*. McGraw-Hill Publishing. ISBN 0-077-09863-3.
- J. Escribano, C. García, J. I. Moreno y C. Seldas (2002). Techniques to include QoS capabilities in Java-RMI. En *II Congreso Iberoamericano de Telemática (CITA '2002)*. Tampere, Finland.
- S. Fantar, S. Gammar y F. Kamoun (2004). Using SIP for floor control in a videoconference. En A. Y., ed., *Proceedings of the Fifth International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training, ITHET 2004*, págs. 274–277. Istanbul.
- S. Floyd, V. Jacobson, C.-G. Liu, S. McCanne y L. Zhang (1997). A reliable multicast framework for light-weight sessions and application level framing. *IEEE ACM Trans Networking*, **5**(6):págs. 784–803.
- N. Freed y N. Borenstein (1996a). Multipurpose Internet Mail Extensions (MIME) Part One: Format of Internet Message Bodies. RFC 2045, Internet Engineering Task Force.
- N. Freed y N. Borenstein (1996b). Multipurpose Internet Mail Extensions (MIME) Part Two: Media Types. RFC 2046, Internet Engineering Task Force.
- A. Fung y J. Ledesma (2005). Extending the Classroom. *Information Technology and Educational Management in the Knowledge Society*, págs. 47–56.
- W. O. Galitz (2007). *The Essential Guide to User Interface Design: An Introduction to GUI Design Principles and Techniques*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA. ISBN 0470053429.
- P. Gannon-Leary y E. Fontainha (2007). Communities of Practice and Virtual Learning Communities: Benefits, Barriers and Success Factors. *eLearning Papers*, **5**.
- T. Georgiev, E. Georgieva y G. Trajkovski (2006). Transitioning from e-learning to m-learning: Present issues and future challenges. En *7th ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing, SNPD 2006, including Second ACIS International Workshop on Self-Assembling Wireless Networks, SAWN 2006*, tomo 2006, págs. 349–353. Las Vegas, NV.

- G. J. Gery (1991). *Electronic performance support systems: how and why to remake the workplace through the strategic application of technology*. Weingarten Publications, Inc., Boston, MA, USA. ISBN 0-9617968-1-2.
- J. Glasmann, W. Kellerer y H. Müller (2003). Service Architectures in H.323 and SIP: A Comparison. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, **5**(2):págs. 32–47.
- G. Golovchinsky y L. Denoue (2002). Moving markup: Repositioning freeform annotations. En *Proceedings of the 15th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, págs. 21–29. Paris.
- GoToMeeting (2008). Información de la herramienta de GoToMeeting. <http://www.gotomeeting.com>.
- Groove (2008). Información de la herramienta *Virtual Office*. <http://www.groove.net>.
- T. Guild (2008). The eLearning Guild. Ver <http://www.elearningguild.com/>.
- M. Handley y V. Jacobson (1998). SDP: Session Description Protocol. RFC 2327, Internet Engineering Task Force.
- M. Handley, C. Perkins y E. Whelan (2000). Session Announcement Protocol. RFC 2974, Internet Engineering Task Force.
- G. Hellstrom y P. Jones (2005). RTP Payload for Text Conversation. RFC 4103, Internet Engineering Task Force.
- J. Helmer (2007). The UK E-learning market. Inf. téc., Learning Light.
- G. Herlein, J. Valin, A. Heggstad y A. Moizard (2008). RTP Payload Format for the Speex Codec. Internet Draft draft-ietf-avt-rtp-speex-05, Internet Engineering Task Force. (Trabajo en progreso).
- Y. Higuchi, T. Mitsuishi y K. Go (2006). An interactive multimedia instruction system: IMPRESSION for multipoint synchronous online classroom environment. En *10th International Conference on Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems, KES 2006*, tomo 4252 LNAI - II, págs. 1027–1034. Bournemouth.
- J. Hodges y R. Morgan (2002). Lightweight Directory Access Protocol (v3): Technical Specification. RFC 3377, Internet Engineering Task Force.
- D. L. Hoffman, T. P. Novak y M. Peralta (1999). Building consumer trust online. *Commun. ACM*, **42**(4):págs. 80–85.
- HotConference (2008). Información de la herramienta *HotConference*. <http://www.hotconference.net>.
- A. Huang (2003). Ad-hoc Collaborative Document Annotation on a Tablet PC. Inf. téc., Brown University.
- G. Hutchings, W. Hall, J. Briggs, N. Hammond, M. Kibby, C. McKnight y D. Riley (1992). Authoring and Evaluation of Hypermedia in Education. *Computers and Education*, **18**(1-3).
- G.-J. Hwang (2006). Criteria and Strategies of Ubiquitous Learning. En *SUTC '06: Proceedings of the IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing - Vol 2 - Workshops*, págs. 72–77. IEEE Computer Society, Washington, DC, USA. ISBN 0-7695-2553-9-02.

-
- K. Hyder, A. Kwinn, R. Miazga y M. Murray (2007). The eLearning Guild's handbook on synchronous e-Learning. Inf. téc., The eLearning Guild.
- IBM (2008). Información de la herramienta *Lotus Sametime*. <http://www.ibm.com/lotus/sametime>.
- iLinc (2008). Información de las herramientas de enseñanza y conferencia LearnLink. <http://www.ilinc.com>.
- Intercall (2008). Información de la herramienta InterCall. <http://www.intercall.com>.
- R. Israel (1992). Education for the year 2000: A whole new game. *Computing Canada*, **18**(19).
- ITA (2008). Internet Traffic Archive. Ver <http://ita.ee.lbl.gov/index.html>.
- ITR (2008). Internet Traffic Report. Ver <http://www.internettrafficreport.com/main.htm>.
- V. Jacobson (1990). Compressing TCP/IP Headers. RFC 1144, Internet Engineering Task Force.
- M. Jain y C. Dovrolis (2003). End-to-end available bandwidth: Measurement methodology, dynamics, and relation with TCP throughput. *IEEE ACM Trans Networking*, **11**(4):págs. 537–549.
- A. Johnston, S. Donovan, R. Sparks, C. Cunningham y K. Summers (2003). Session Initiation Protocol (SIP) Basic Call Flow Examples. RFC 3665, Internet Engineering Task Force.
- P. A. Jokipelto (2005). T-learning Model for Learning via Digital TV. En *16th EAEEIE Annual Conference on Innovation in Education for Electrical and Information Engineering (EIE)*. Lappeenranta (Finland).
- P. Koskelainen, J. Ott, H. Schulzrinne y X. Wu (2006). Requirements for Floor Control Protocols. RFC 4376, Internet Engineering Task Force.
- V. R. Landa, R. L. Runge, K. Ogawa y M. Bata (1987). POS system for massmerchant store: System 87 Plus. *Fujitsu Sci Tech J*, **23**(4):págs. 319–328.
- L.-A. Larzon, M. Degermark y S. Pink (2004). The Lightweight User Datagram Protocol (UDP-Lite). RFC 3828, Internet Engineering Task Force.
- H. Latchman, C. Salzmann, D. Gillet y H. Bouzekri (1999). Information technology enhanced learning in distance and conventional education. *IEEE Trans Educ*, **42**(4):págs. 247–254.
- H. Latchman, C. Salzmann, D. Gillet y J. Kim (2001). Learning on demand - A hybrid synchronous/asynchronous approach. *IEEE Trans Educ*, **44**(2):págs. 208–.
- LearningLight (2008). Learning Light. Ver <http://www.learninglight.com/>.
- J. Lennox, X. Wu y H. Schulzrinne (2004). Call Processing Language (CPL): A Language for User Control of Internet Telephony Services. RFC 3880, Internet Engineering Task Force.
- A. Li (2007). RTP Payload Format for Generic Forward Error Correction. RFC 5109, Internet Engineering Task Force.
- M. López Nores, J. J. Pazos Arias, R. P. Díaz Redondo, Y. Blanco Fernández, J. García Duque, M. Rey López, A. B. Barragáns Martínez, A. Fernández Vilas, A. Gil Solla y M. Ramos Cabrer (2005). Bringing Standards into T-learning. En *3rd European Conference on Interactive Television: User Centred ITV Systems, Programmes and Applications (EuroITV)*, págs. 79–86.

- P. J. Lynch y S. Horton (1999). *Web Style Guide: Basic Design Principles for Creating Web Sites*. Yale University Press, New Haven, CT, USA. ISBN 0300076746.
- R. Malpani y L. A. Rowe (1997). Floor control for large-scale Mbone seminars. En *MULTIMEDIA '97: Proceedings of the fifth ACM international conference on Multimedia*, págs. 155–163. ACM, New York, NY, USA. ISBN 0-89791-991-2.
- Marratech (2008). Información de la herramienta de Marratech. <http://www.marratech.com>.
- G. Massei, A. Scarpiello y A. Vollono (2006). *Distributed Cooperative Laboratories: Networking, Instrumentation, and Measurements*, cap. The VIL (Virtual Immersive Learning) Test-Bed: An Innovative Approach To Distance Learning, págs. 527–544.
- S. McCanne (1992). A distributed whiteboard for network conferencing.
- MegaMeeting (2008). Información de la herramienta de MegaMeeting. <http://www.megameeting.com>.
- P. Mehta y S. Udani (2001). Overview of Voice over IP. Inf. téc., University of Pennsylvania. MS-CIS-01-31.
- Microsoft (2008a). Información de la herramienta *NetMeeting*. <http://www.microsoft.com>.
- Microsoft (2008b). Información de la herramienta *Office LiveMeeting*. <http://www.livemeeting.com>.
- Microtronix (2003). SIP Vs. H.323 - A Comparison. http://microtronix.ca/sip_vs_h323.htm.
- S. Mishra y R. C. Sharma (2005). *Interactive Multimedia in Education and Training*. IGI Global. ISBN 0-077-09863-3.
- K. Mock (2004). Teaching with Tablet PC's. *Journal of Computing Sciences in Colleges*, **20**(2):págs. 17–27.
- N. Mollet y B. Arnaldi (2006). Storytelling in virtual reality for training. En *1st International Conference on Technologies for E-Learning and Digital Entertainment, Edutainment 2006*, tomo 3942 LNCS, págs. 334–347. Hangzhou.
- L. F. Motiwalla (2007). Mobile learning: A framework and evaluation. *Computers & Education*, **49**(3):págs. 581–596.
- A. Narasimhalu (1996). Multimedia databases. *Multimedia Syst*, **4**(5):págs. 226–249.
- T. H. Nelson (1965). Complex information processing: a file structure for the complex, the changing and the indeterminate. En *Proceedings of the 1965 20th national conference*, págs. 84–100. ACM, New York, NY, USA.
- T. H. Nelson (1970). *No More Teacher's Dirty Looks*. Computer Decisions.
- K. Nichols, V. Jacobson y L. Zhang (1999). A Two-bit Differentiated Services Architecture for the Internet. RFC 2638, Internet Engineering Task Force.
- J. Nielsen (1993). *Usability Engineering*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA. ISBN 0125184050.
- J. Oikarinen (1993). Internet Relay Chat Protocol. RFC 1459, Internet Engineering Task Force.

- J. Ott y E. Carrara (2008). Extended Secure RTP Profile for Real-time Transport Control Protocol (RTCP)-Based Feedback (RTP/SAVPF). RFC 5124, Internet Engineering Task Force.
- J. Ott, S. Wenger, N. Sato, C. Burmeister y J. Rey (2006). Extended RTP Profile for Real-time Transport Control Protocol (RTCP)-Based Feedback (RTP/AVPF). RFC 4585, Internet Engineering Task Force.
- M. Padmore, L. Hall, B. Hogg y G. Paley (2006). Reviewing the potential of Virtual Learning Environments in schools. En *1st International Conference on Technologies for E-Learning and Digital Entertainment, Edutainment 2006*, tomo 3942 LNCS, págs. 203–212. Hangzhou.
- X. G. Pañeda (2004). *Análisis, modelado y configuración de servicios de vídeo bajo demanda sobre redes de cable*. Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo.
- M. Pahud (2008). ConferenceXP research platform: toward an extensible collaborative environment. Publicación de Microsoft Research. Disponible en línea: <http://research.microsoft.com/conferencexp/library/ExtensibleCollaborativeEnv.pdf>.
- G. Paquette (2001). Telelearning Systems Engineering - Towards a New ISD Model. *Journal of Structural Learning & Intelligent Systems*, **14**(4):págs. p319 –.
- V. Paxson (1999). End-to-end Internet packet dynamics. *IEEE ACM Trans Networking*, **7**(3):págs. 277–292.
- C. Perkins (2003). *RTP: Audio and Video for the Internet*. Addison-Wesley Professional. ISBN 0-672-32249-8.
- R. Phillips (1997). *The Developer's Handbook to Interactive Multimedia: A Practical Guide for Educational Applications*. Stylus Publishing.
- Pixion (2008). Información de la herramienta *PictureTalk*. <http://www.pixion.com>.
- R. Qiu, F. Kuhns y J. Cox (2002). A conference control protocol for highly interactive videoconferencing. En *GLOBECOM'02 - IEEE Global Telecommunications Conference*, tomo 2, págs. 2021–2025. Taipei.
- U. V. Reddi, A. Saxena, A. Dighe, M. Parhar, S. Mishra, A. S. Rao, C. B. Sharma y P. R. Ramanujam (2003). *Educational Multimedia a Handbook for Teacher-Developers*. CEMCA.
- C. Rigney, S. Willens, A. Rubens y W. Simpson (2000). Remote Authentication Dial In User Service (RADIUS). RFC 2865, Internet Engineering Task Force.
- E. Rosen, A. Viswanathan y R. Callon (2001). Multiprotocol Label Switching Architecture. RFC 3031, Internet Engineering Task Force.
- J. Rosenberg (2004). A Presence Event Package for the Session Initiation Protocol (SIP). RFC 3856, Internet Engineering Task Force.
- J. Rosenberg (2006). A Framework for Conferencing with the Session Initiation Protocol (SIP). RFC 4353, Internet Engineering Task Force.
- J. Rosenberg y H. Schulzrinne (2002a). An Offer/Answer Model with the Session Description Protocol (SDP). RFC 3264, Internet Engineering Task Force.
- J. Rosenberg y H. Schulzrinne (2002b). Session Initiation Protocol (SIP): Locating SIP Servers. RFC 3263, Internet Engineering Task Force.

- J. Rosenberg, H. Salama y M. Squire (2002a). Telephony Routing over IP (TRIP). RFC 3219, Internet Engineering Task Force.
- J. Rosenberg, H. Schulzrinne, G. Camarillo, A. Johnston, J. Peterson, R. Sparks, M. Handley y E. Schooler (2002b). SIP: Session Initiation Protocol. RFC 3261, Internet Engineering Task Force.
- J. Rosenberg, H. Schulzrinne, C. Huitema y D. Gurle (2002c). Session Initiation Protocol (SIP) Extension for Instant Messaging. RFC 3428, Internet Engineering Task Force.
- J. Rosenberg, H. Schulzrinne y G. Camarillo (2005). The Stream Control Transmission Protocol (SCTP) as a Transport for the Session Initiation Protocol (SIP). RFC 4168, Internet Engineering Task Force.
- W. W. Royce (1970). Managing the development of large software systems: Concepts and Techniques. En *IEEE WESCON*, págs. 1–9.
- Saba (2008). Información de la herramienta *Centra Live*. <http://www.saba.com/products/centra/details.htm>.
- P. Saint-Andre (2004). Extensible Messaging and Presence Protocol (XMPP): Core. RFC 3920, Internet Engineering Task Force.
- B. N. Schilit, G. Golovchinsky y M. N. Price (1998). Beyond paper: Supporting active reading with free form digital ink annotations. En *Proceedings of the 1998 Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI*, págs. 249–256. ACM, Los Angeles, CA, USA.
- H. Schulzrinne y J. Rosenberg (1998). A Comparison of SIP and H.323 for Internet Telephony.
- H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick y V. Jacobson (2003a). RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications. RFC 3550, Internet Engineering Task Force.
- H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick y V. Jacobson (2003b). RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control. RFC 3551, Internet Engineering Task Force.
- D. Schwartz (2005). The future is here. *LDB Inter. Text.*, **102**(2):págs. 12–13.
- B. Shackel (1990). Human factors and usability. *Human-computer interaction*, págs. 27–41.
- L. Sherry (1996). Issues in distance learning. *International Journal of Educational Telecommunications*, **1**(4):págs. 337–365.
- B. Shneiderman y C. Plaisant (2004). *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction (4th Edition)*. Pearson Addison Wesley. ISBN 0321197860.
- R. E. Shulman (1992). Multimedia — A high-tech solution to industry’s training malaise. *Supermarket business*, **47**(4):págs. 23–24.
- D. Sisalem y H. Schulzrinne (1998a). The Direct Adjustment Algorithm: A TCP-Friendly Adaptation Scheme. En *QofIS*, págs. 68–79.
- D. Sisalem y H. Schulzrinne (1998b). The Loss-Delay Adjustment Algorithm: A TCP-Friendly Adaptation Scheme. En *International Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video (NOSSDAV)*.
- C. Snow, J. Pullen y P. McAndrews (2005). Network EducationWare: an open-source web-based system for synchronous distance education. *Education, IEEE Transactions on*, **48**(4):págs. 705–712.

- D. N. Snowdon y A. J. Munro (2001). *Collaborative Virtual Environments: Digital Places and Spaces for Interaction*. Springer-Verlag New York, Inc., Secaucus, NJ, USA. ISBN 1852332441.
- R. Steinmetz y K. Nahrstedt (1995). *Multimedia: Computing, Communication and Applications*. Prentice-Hall, Inc.
- R. Stewart, Q. Xie, K. Morneault, C. Sharp, H. Schwarzbauer, T. Taylor, I. Rytina, M. Kalla, L. Zhang y V. Paxson (2000). Stream Control Transmission Protocol. RFC 2960, Internet Engineering Task Force.
- S. Sundar (2000). Multimedia effects on processing and perception of online news: A study of picture, audio, and video downloads. *Journal. Mass Commun. Q.*, **77**(3):págs. 480–499.
- R. Taylor (1980). *The Computer in the School: Tutor, Tool, Tutee*. Inf. Téc. ASIN: 0807726117, Teachers College Press.
- A. Trifonova, J. Knapp y M. Ronchetti (2005). E-learning versus M-learning: Experiences, a Prototype and First Experimental Results. En P. Kommers y G. Richards, eds., *Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications 2005*, págs. 4751–4758. AACE, Montreal, Canada.
- T.-L. Tung (1997). *MediaBoard: a shared whiteboard application for the MBone*. Tesis Doctoral, Computer Science Division (EECS), University of California, Berkeley.
- I. T. Union (1998). Objective quality measurement of telephone-band (300-3400 Hz) speech codecs. Recommendation P.861, ITU-T.
- I. T. Union (2000). The E-model, a computational model for use in transmission planning. Recommendation G.107, ITU-T.
- I. T. Union (2001). Perceptual evaluation of speech quality (PESQ), an objective method for end-to-end speech quality assessment of narrowband telephone networks and speech codecs. Recommendation P.862, ITU-T.
- I. T. Union (2003). Visual telephone systems and equipment for local area networks which provide a non-guaranteed quality of service. Recommendation H.323, ITU-T.
- USDLA (2008). United States Distance Learning Association. Ver <http://www.usdla.org>.
- Voxwire (2008). Información de la herramienta *Meeting Room*. <http://www.voxwire.com>.
- M. Watson, M. Lubt y L. Vicisano (2007). Forward Error Correction (FEC) Building Block. RFC 5052, Internet Engineering Task Force.
- Wave Three (2008). Información de la herramienta *Session*. <http://www.wave3software.com>.
- WebConference (2008). Características de la herramienta de WebConference. <http://www.webconference.com>.
- M. Weber y S. Kantamneni (2002). POS and EDI in retailing: An examination of underlying benefits and barriers. *Supply Chain Manage.*, **7**(5):págs. 311–317.
- WebEx (2008). Información de la herramienta *WebEx Training Center*. <http://www.webex.com>.
- J. Webster y P. Hackley (1997). Teaching effectiveness in technology-mediated distance learning. *Acad. Manage. J.*, **40**(6):págs. 1282–1309.

- M. Weller (2007). The distance from isolation. Why communities are the logical conclusion in e-learning. *Comput Educ*, **49**(2):págs. 148–159.
- E. Wenger (2000). Communities of Practice and Social Learning Systems. *Organization*, **7**(2):págs. 225–246.
- S. Wenger, M. M. Hannuksela, T. Stockhammer, M. Westerlund y D. Singer (2005). RTP Payload Format for H.264 Video. RFC 3984, Internet Engineering Task Force.
- S. Wexler, B. Schlenker, P. Cancro, B. Chapman, K. Hyder, K. Kapp, A. Kwinn y T. O’Driscoll (2007). Synchronous Learning Systems. 360° Report. Inf. téc., The eLearning Guild.
- J. Widmer, R. Denda y M. Mauve (2001). A survey on TCP-friendly congestion control. *IEEE Network*, **15**(3):págs. 28–37.
- Wimba (2008). Información de la herramienta *Classroom*. <http://www.wimba.com>.
- WiredRed (2008). Información de la herramienta *e/pop Web Conferencing*. <http://www.wiredred.com/web-conferencing/>.
- B. Witmer, J. Bailey, B. Knerr y K. Parsons (1996). Virtual spaces and real world places: Transfer of route knowledge. *Int J Hum Comput Stud*, **45**(4):págs. 413–428.
- L. Wu, B. Davie, S. Davari, P. Vaananen, R. Krishnan, P. Cheval y J. Heinanen (2002). Multi-Protocol Label Switching (MPLS) Support of Differentiated Services. RFC 3270, Internet Engineering Task Force.
- Z. Xinyou y Z. Yan (2006). An instructor-oriented prototype system for virtual classroom. En *6th International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2006*, tomo 2006, págs. 200–204. Kerkrade.
- Z. Xinyou, Z. Yanru y M. Matsumoto (2006). A real-time interactive shared system for distance learning. En *MMM2006: 12th International Multi-Media Modelling Conference*, tomo 2006, págs. 102–107. Beijing.
- M. Yajnik, S. B. Moon, J. F. Kurose y D. F. Towsley (1999). Measurement and Modeling of the Temporal Dependence in Packet Loss. En *INFOCOM (1)*, págs. 345–352.
- Z. Yang y Q. Liu (2007). Research and development of web-based virtual online classroom. *Computers & Education*, **48**(2):págs. 171–184.
- J.-S. Yin, F. Pinel, Y.-H. Liu y T. Chieu (2005). Pervasive computing technologies for retail in-store shopping. En *2nd International Conference on Pervasive Services, ICPS ’05*, tomo 2005, págs. 111–116. Santorini.
- P. Zhang (1998). A case study on technology use in distance learning. *Journal of Research on Computing in Education*, **30**(4):págs. 398–419.