

# **Desarrollo de una herramienta para estimación de la calidad de la experiencia de los usuarios de una instrumentación a gran escala de “una computadora portátil por niño”.<sup>1</sup>**

Braulio Boidi, Vito Fiorentino, Gonzalo Pastorino, Fernando Fontán, Álvaro Pardo

Departamento de Ingeniería Eléctrica  
Facultad de Ingeniería y Tecnologías  
Universidad Católica del Uruguay

En el presente trabajo se analiza el desarrollo de una herramienta de estimación de la calidad de la experiencia de usuarios que, en grandes centros educativos, usan concurrentemente aplicaciones desde laptops que acceden a Internet a través de una red de área local inalámbrica. Mediante técnicas de simulación se estima la calidad de servicio que se brinda a cada laptop en ciertas condiciones de uso y concurrencia, y por medio de modelos de comportamiento y técnicas de estimación, se hace una estimación de la calidad percibida por los usuarios. A efectos de realizar estimaciones se emplean modelos recomendados por estándares internacionales. Este trabajo es resultado de un proyecto de grado cuyo propósito es contribuir con la implementación en Uruguay de un plan extensivo de “una computadora portátil por niño”, denominado Plan Ceibal.

## **Introducción**

En Uruguay se está instrumentando el denominado Plan Ceibal [1], el cual busca promover la inclusión digital, con el fin de disminuir la brecha digital del país respecto a la región, como entre los ciudadanos de Uruguay, de manera de posibilitar un mayor y mejor acceso a la educación y a la cultura.

Participan conjuntamente en la realización del Plan Ceibal los siguientes organismos de Uruguay: Centro para la Inclusión Tecnológica y Social (CITS), Consejo Directivo Central (CODICEN), Consejo de Educación Primaria (CEP), Ministerio de Educación y Cultura (MEC), Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU), Administración Nacional de Telecomunicaciones (ANTEL), Agencia para el Desarrollo del Gobierno de Gestión Electrónica y la Sociedad de la Información y del Conocimiento (AGESIC), y la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII); y cuenta con un importante apoyo de toda la comunidad académica nacional.

El Plan se basa en un completo sistema que busca garantizar el uso de los recursos tecnológicos, la formación docente, la elaboración de contenidos adecuados, además la participación familiar y social.

---

<sup>1</sup> Este trabajo es parte del proyecto final de carrera de Boidi, Fiorentino y Pastorino autores principales de este trabajo. Fontán y Pardo se desempeñaron como tutores del proyecto.

**Braulio Boidi, Vito Fiorentino, Gonzalo Pastorino, Fernando Fontán, Álvaro Pardo**

Uno de los componentes más importantes del plan consiste en la entrega de una computadora portátil de bajo costo (Laptop XO), con capacidad para conectarse fácilmente a un acceso a Internet de forma inalámbrica, a cada estudiante de educación primaria y media del sistema de educación pública del país. Este plan constituye una instrumentación a gran escala, y a nivel de un país, de la iniciativa de “una computadora portátil por niño” (“One Laptop per Child” – OLPC).

A efectos de posibilitar que los estudiantes puedan acceder a Internet, el plan también comprende instrumentar soluciones de accesos a Internet por medio de Wi-Fi en todos los centros de enseñanza primaria y media del país, y progresivamente en otros lugares públicos a los que pueden acceder los estudiantes, tales como plazas públicas y bibliotecas. En una etapa que se está iniciando también se procurará brindar cobertura Wi-Fi en zonas donde se concentran los hogares de los quintiles de más bajos ingresos de la población, donde la penetración comercial de los servicios de acceso a Internet de banda ancha es extremadamente baja.

La conexión a Internet de las escuelas se instrumenta por medio de servicios de acceso a Internet de banda ancha, y emplea la tecnología de mejor capacidad disponible de ANTEL en el emplazamiento de cada escuela. Estas conexiones se brindan con el mayor ancho de banda disponible para los requerimientos de capacidad resultantes de la planificación, y los servicios de acceso a Internet se prevén con una mínima sobre asignación estadística, dado que estos servicios son los troncales hacia Internet de una compleja red de acceso de área local.

En función de la disponibilidad técnica, y considerando que muchas escuelas están localizadas en zonas rurales remotas, las tecnologías de banda ancha empleadas son en centros urbanos xDSL (fundamentalmente ADSL2+), y redes de acceso móviles HSPA/EDGE/GPRS y satélite en zonas suburbanas y rurales.

A nivel de la red de área local se utiliza acceso por medio de tecnología WI-FI, en coexistencia con un protocolo de red Mesh soportado por las XO [2]. El emplear ambas tecnologías puede resultar ventajoso bajo ciertas condiciones de dificultad de cobertura geográfica, pero también se identificó que, por efecto del tráfico adicional que genera el uso de la tecnología Mesh, puede disminuir el desempeño de la red en casos de topologías de cierta complejidad.

El equipo técnico del Plan Ceibal es responsable de la planificación e instrumentación de las redes de área local inalámbrica a través de la cual acceden a Internet las Laptops en los centros de enseñanza y otros espacios públicos.

Para el Plan Ceibal resulta imprescindible que todas las laptops cuenten con un adecuado acceso a Internet, no solo por su uso académico, también porque los principales sistemas de soporte del mismo se basan en la vinculación en línea entre cada laptop y los sistemas centrales de control instrumentados. Ejemplo de lo anterior son los sistemas de monitoreo de la red, gestión de incidentes, actualización remota, y los sistemas críticos de anti robo y registro, que emplean la conectividad en forma permanente.

Un aspecto al que se le ha prestado particular atención en los procesos de planificación, instalación, y monitoreo de desempeño, de la infraestructura de acceso a Internet del Plan, es que las condiciones de los accesos disponibles en cada lugar donde se utilicen las laptops sean consistentes con una adecuada calidad de la experiencia del estudiante. Esto procura que sea óptima la interacción del estudiante con las aplicaciones que se están desarrollando en forma permanente para apoyar el plan desde la perspectiva académica; y puede significar la necesidad de ampliación de infraestructura donde es posible.

### Desarrollo de una herramienta para estimación de la calidad de la experiencia de los usuarios de una instrumentación a gran escala de “una computadora portátil por niño”

En los lugares donde la ampliación de la capacidad instalada no es posible en lo inmediato es posible coordinar la realización de las actividades académicas que emplean las laptops, de modo que la concurrencia de uso haga compatibles los recursos disponibles con los objetivos de calidad previstos.

Por lo antes expuesto, y tras un rico intercambio de ideas con el equipo técnico del Plan Ceibal, un equipo de trabajo de la Facultad de Ingeniería y Tecnologías de la Universidad Católica del Uruguay, se identificó oportuno poner en marcha un proyecto para desarrollar una herramienta que posibilite estimar la calidad de la experiencia de los usuarios en cada espacio de trabajo, en función de datos de las instalaciones, y el conocimiento de la modalidad de uso del acceso a Internet por parte de los estudiantes.

Este trabajo describe los resultados del referido proyecto, el cual, utilizando distintos modelos de tráfico por usuario, permite estimar el desempeño del servicio de acceso a Internet de cada laptop en función de las condiciones en que éste se implemente.

Si bien la calidad de la experiencia percibida por los usuarios solo puede determinarse por medio de encuestas realizadas con criterio de muestreo de base estadística, hoy se cuenta con modelos analíticos que, bien empleados, permiten hacer una adecuada estimación. Estos modelos se basan en información del desempeño de la red empleada, la naturaleza de las aplicaciones a las que se accede, y en modelos de comportamiento de uso que refleja la expectativa de los usuarios.

Los modelos de estimación de la calidad de la experiencia vinculan parámetros de calidad de ingeniería de la instalación a estudiar, tanto los que surgen de la planificación de la misma como los que se obtienen de observar su desempeño, con modelos de la demanda de los usuarios. La obtención de ciertos niveles de calidad de la experiencia se convierte en un objetivo de conjunto del sistema, puesto que pone en la perspectiva del usuario el desempeño conjunto de las aplicaciones, el terminal y la conectividad empleados. Para el proyecto se consideraron relevantes las recomendaciones del área de Normalización de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T); en particular las recomendaciones UIT-T G.1010 y UIT-T G.1030 [3].

#### **Definición del problema**

De acuerdo a lo antes descrito, uno de los aspectos a resolver por el Plan Ceibal es proveer acceso a Internet a cada una de las computadoras portátiles entregadas a los estudiantes, alcanzando en una etapa inicial una total cobertura del recinto del centro de enseñanza. Para alcanzar este objetivo se debe dar conectividad a Internet a cada centro educativo y luego instrumentar acceso local a esta red a todas las laptops del recinto.

La calidad de la experiencia de cada usuario es la resultante del desempeño conjunto de las aplicaciones, el hardware, y el software de base, de la laptop, la conectividad de área local del recinto, los servidores que obren de Proxy, el servicio de acceso a Internet del centro educativo, el desempeño del backbone de Internet nacional e internacional que trafiquen los paquetes de cada aplicación, y los servidores con los que intercambian información los usuarios por medio de las aplicaciones. Por esto se considera a la calidad de la experiencia como un indicador de desempeño “extremo a extremo” de la prestación de un servicio de telecomunicaciones.



Figura 1.- La calidad de la experiencia de los usuarios es la resultante de múltiples aspectos del sistema considerado.

Asumiendo que el acceso a Internet del centro educativo pueda ampliarse todo lo que sea necesario para atender la capacidad que se identifique requerida por las actividades que allí se realizan, es en la red de área local donde una importante concurrencia de usuarios podría dar lugar a situaciones de congestión que menoscaben la calidad de uso de las aplicaciones. En el trabajo conjunto de este equipo de proyecto con el equipo técnico del Plan Ceibal se identificó oportuno hacer foco en la incidencia del desempeño de la red de acceso de área local en la calidad de la experiencia percibida por los usuarios, considerando un adecuado desempeño del resto de los elementos de la arquitectura que contribuyen a la calidad de la experiencia.

Las tecnologías de red de área local inalámbrica presentan un desempeño muy dependiente del número de usuarios que las emplean concurrentemente, y el tipo de aplicaciones de comunicación que cada usuario está empleando. En cada centro educativo se plantea un escenario particular de uso del acceso a Internet por parte de los niños, puesto que concurrirán en el uso un cierto número de niños, y dependerá de sus actividades la exigencia de ancho de banda que plantearán en conjunto.

En la red de área local el acceso se resuelve empleando los dos protocolos de comunicación soportados por las laptops XO. Estos protocolos son IEEE 802.11 b/g y un protocolo de comunicación Mesh similar a IEEE 802.11s.

Al conectarse un usuario a un AP (Access Point), su laptop establece la velocidad del enlace de datos de acuerdo a la calidad del enlace que se puede establecer entre la Laptop y el AP. Esto da lugar a que diferentes usuarios estén conectados al mismo AP en un mismo momento con velocidades diferentes. Hay varios factores que inciden al momento de determinar cual es la máxima velocidad del enlace de datos que un usuario puede lograr, estos son, entre otros factores, distancia entre puntos de terminación, interferencia, potencia de transmisión, pérdidas de propagación, y falta de capacidad por exceso de tráfico en la red.

Las limitaciones de capacidad, propias de las tecnologías de red de acceso local inalámbrico, se ven incrementados al sumarse tráfico adicional entre terminales por utilizar protocolos Mesh, dado que estos protocolos utilizan los mismos canales de la interfaz radioeléctrica. En un escenario de alta concurrencia, el empleo del protocolo Mesh disminuye el desempeño general del sistema, resultando en un menor número máximo de laptops concurrentes en actividad para una cierta calidad de experiencia objetivo de diseño.

Para que los estudiantes puedan emplear con una calidad de experiencia adecuada las aplicaciones que interactúan a través de Internet que ejecutan sus Laptops, se hace necesario

Desarrollo de una herramienta para estimación de la calidad de la experiencia de los usuarios de una instrumentación a gran escala de “una computadora portátil por niño”

realizar una planificación que cuente con herramientas de diseño de ingeniería que contribuyan a una óptima instrumentación de la solución de acceso en la red de área local, considerando los requerimientos de los diferentes usos de la XO. El desafío consiste en traducir los requerimientos de calidad de la experiencia de los usuarios en criterios de diseño de ingeniería que posibiliten una óptima instrumentación de los recursos tecnológicos que soportan las comunicaciones.

En resumen, en el problema identificado el proyecto tuvo por objetivo desarrollar una aplicación informática que se constituyera en una herramienta de apoyo a la planificación de las soluciones de acceso inalámbrico a instrumentar en los centros de enseñanza. Contribuyendo a lograr una calidad de experiencia planificada para los usuarios, en función de las condiciones técnicas de cada lugar y las aplicaciones a utilizar en las actividades educativas.

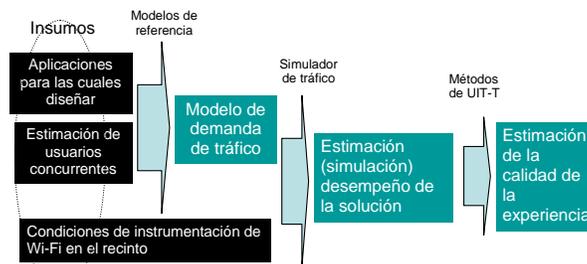


Figura 2.- Flujo de diseño a resolver por el proyecto.



Figura 3.- Diseño ajustado por la estimación de la calidad de la experiencia.

### Modelo de tráfico de usuarios del Plan Ceibal

Las laptops permiten realizar diversos tipos de actividades que involucran la utilización de la red inalámbrica. Con el objetivo de priorizar las líneas de trabajo del proyecto, se evaluaron los diferentes tipos de tráfico existentes en las instalaciones ya instrumentadas por el Plan Ceibal. El objetivo era determinar si existía un uso dominante, o se estaba frente a una mezcla compleja de modalidades de uso. En la evaluación se consideraron las demandas resultantes de las actividades de interés académico.

En la Figura 4 se presenta la distribución de las actividades en función de la conectividad. El análisis de esta información permitió concluir que disponiendo de conectividad, las actividades que se basan en navegación Web son las de mayor incidencia de uso. Como las restantes

**Braulio Boidi, Vito Fiorentino, Gonzalo Pastorino, Fernando Fontán, Álvaro Pardo**

actividades tienen una baja incidencia se entendió oportuno no considerarlas a efectos del modelo de tráfico.



Figura 4. Actividades más usadas en clase según conectividad. Fuente [4].

En base a esto se decidió construir una herramienta que permita estimar las condiciones de desempeño de la red de área local en ciertas condiciones de demanda, estimar a partir de este la calidad de la experiencia de los usuarios. Se considerando como demanda de tráfico para la red simulada, la originada de actividades de navegación Web en Internet.

#### Métodos de estimación de la calidad

Con el objetivo de identificar un método de estimación de la calidad la experiencia de amplia aceptación, se consideraron como base los documentos presentados en el conjunto de recomendaciones G.1000-G.1999 del área de normalización de la UIT (UIT-T).

Son de particular interés los estudios descriptos por las recomendaciones G.1010 y G.1030, en las que respectivamente se tratan los aspectos referentes a la calidad de transmisión y su influencia sobre diferentes tipos de tráfico en el usuario, y a la determinación de un método para calificar la calidad de percepción del tráfico del tipo Navegación.

En particular la recomendación G.1010 estudia el sistema compuesto por servicios multimedios, considerándolo desde el punto de vista del usuario en el extremo. Se determinan a su vez los parámetros que inciden en toda la gama de aplicaciones que puede utilizar un usuario, tomando en cuenta, voz, video, imágenes y texto.

En la recomendación G.1030 se propone como parámetro de medición el denominado MOS (Nota Media de Opinión), el cual es utilizado para calificar la calidad percibida por el usuario final en función de los parámetros de calidad de servicio de la red considerada y el tipo de uso considerado. De esta forma se califica esta percepción en función del desempeño de la red considerando las características del tráfico cursado mediante la siguiente relación:

$$MOS_{1-página} = [4/\ln((0.005Máx+0.24)/Máx)].(\ln(Tiempo\ de\ sesión)-\ln(0.005Máx+0.24)) + 5$$

*Máx* es el tiempo máximo de sesión de Navegación Web que espera el usuario para el cual MOS=1, y *Tiempo de sesión* es el tiempo que transcurre desde que se hace la solicitud Web hasta que se descarga completamente la Página Web.

De la recomendación G.1030, se consideraron dos casos de tiempo esperado:

- Para una sesión esperada de 15 segundos, *Máx* = 38 s
- Para una sesión esperada de 60 segundos, *Máx* = 155 s

### Desarrollo de una herramienta para estimación de la calidad de la experiencia de los usuarios de una instrumentación a gran escala de “una computadora portátil por niño”

Se trabaja entonces con dos relaciones, siendo más exigente la correspondiente a la sesión esperada de 15 segundos de espera. La MOS varía de 1 a 5 para percepciones malas hasta excelentes respectivamente.

#### **Modelado de Tráfico y Simulación**

Para estimar la calidad percibida por los usuarios se decidió estimar las condiciones de desempeño de la red de acceso local en base a la simulación del comportamiento de esta frente a un tráfico equivalente al que demandan los usuarios reales. Se optó por simulación ante la enorme cantidad de variables que inciden en el cálculo del desempeño, y la naturaleza markoviana del proceso de encaminamiento de tráfico de una red de datos, donde la mayor parte de las variables se deben modelar como procesos estocásticos. Se desarrolló un simulador de tráfico Web basado en el trabajo presentado en [5] que permite generar tráfico para una red simulada.

En [5] se presenta un modelo orientado a conexión (COM), que separa la influencia que tiene el usuario en el tráfico de la que tiene la red y los protocolos que son modelados por la estructura propia del simulador a utilizar. En el proyecto se utilizó para determinar el desempeño de la red de acceso local el simulador NS-3, el cual simula eventos discretos para redes de datos. NS-3 es un simulador de código abierto pensado para fines educativos y de investigación.

El modelo utilizado tiene en cuenta los siguientes parámetros:

- Número de páginas por sesión: Este parámetro se puede considerar equivalente a la duración de las sesiones.
- Tiempo entre páginas: Se define como el tiempo entre el final de la recepción de una página y el comienzo de la petición de la siguiente, por un mismo usuario y una misma sesión
- Número de conexiones por página: Define el interior de una página y deja a los niveles inferiores el modelado de la organización interna a la página.
- Tiempo entre conexiones: Con este parámetro se modela el tiempo entre el inicio de dos conexiones consecutivas perteneciente a la misma página.
- Tamaño de las conexiones en el sentido descendente: se define como la cantidad de información transferida desde el servidor al cliente.
- Número de paquetes de petición: Se considera aquí la posibilidad de repetir peticiones dentro de la misma conexión.
- Tamaño de los paquetes de petición en el sentido ascendente: Se refiere al tamaño de todos los paquetes ascendentes que contengan información útil.

El modelo COM permite tener en cuenta los mecanismos de control de flujo de los protocolos y las retransmisiones, que son mecanismos que se ven influenciados por el estado de la red; es por esto que este modelo proporciona una generación de tráfico realista y muy adecuada al estudio del desempeño de la red.

La caracterización estadística que se presenta en [5] para la generación de tráfico Web, fue realizada a partir de trazas de tráfico tomadas en el año 2000. Se debe considerar que el valor de los parámetros de las distribuciones estadísticas ha cambiado en el transcurso de los años, debido al enorme crecimiento que ha tenido Internet y a la evolución en el desarrollo y diseño de las páginas Web. Considerando que la estructura del modelo es válida, se realizó una actualización de sus parámetros para obtener así un modelo más actual de generación de tráfico Web.

**Braulio Boidi, Vito Fiorentino, Gonzalo Pastorino, Fernando Fontán, Álvaro Pardo**

A los efectos de obtener nuevos parámetros se estudiaron los resultados del Proyecto Zeitgeist de Google [6]. Éste tiene por objetivo mostrar cuales son las palabras más solicitadas dentro del buscador por país organizada en categorías.

Para poder obtener un resultado actualizado, se consideró utilizar como referencia las primeras 10 páginas arrojadas por el buscador Google al realizar la búsqueda de las 10 palabras más buscadas en el 2009 según se indica en Zeitgest, en las siguientes categorías: Búsquedas más populares, temas escolares de estudio y búsquedas emergentes. Esto da un total de 300 páginas las cuales se analizaron utilizando la herramienta Pingdom.

Como resultado de este análisis se obtuvieron nuevos valores para las distribuciones que modelan el comportamiento del generador de tráfico propuesto en [5].

De esta forma se obtuvo lo que se denominó Modelo Dinámico, el cual representa el comportamiento de un usuario promedio realizando Navegación Web, estructurado de modo que sea aplicable a las distribuciones de probabilidad constituyentes del Modelo COM con los parámetros actualizados.

Por otro lado, se consideró realizar un modelo que considerara las características de la página Web solicitada como constantes tomando en cuenta la media de cada una de las distribuciones de probabilidad utilizadas en el Modelo Dinámico. De esta forma se logra obtener mayor objetividad en la estimación del desempeño de la red, ya que las variaciones que se miden en los tiempos de carga de las páginas Web, se corresponden únicamente a efectos provocados por la red de área local. Es decir que en este modelo, denominado Estático, todas las páginas Web solicitadas son idénticas. Las diferencias en las demoras de carga de página se deben al estado de la red.

### **Simulaciones y Validación**

Para las simulaciones se tuvieron en cuenta dos escenarios. Por una parte una configuración similar a la encontrada en los centros educativos, en la cual están deshabilitados los protocolos de red Mesh. Por otra parte un escenario de red Mesh con el objetivo de simular el desempeño y comportamiento de ésta bajo distintas variantes. Posteriormente se realizaría una comparación de desempeño de ambas tecnologías.

En todos los casos se pudo observar para un mismo número de clientes Web, que la configuración en modo Wi-Fi infraestructura presentó un mejor desempeño que la topología Mesh. Esto se vio reflejado tanto en la obtención de tiempos de carga de página menores, como también en un menor porcentaje de páginas incompletas. Si bien era esperable que el tráfico de Mesh tuviera incidencia, las simulaciones y posteriores verificaciones en el laboratorio demostraron que añade un tráfico significativo aún usada en recintos cerrados con una adecuada cobertura de un AP.

Con respecto al MOS, como era esperable, se identificó un decrecimiento notorio del mismo a medida que el tráfico en la red aumenta, pudiendo identificar curvas de evolución del MOS en función del número de laptops en uso concurrente en un mismo AP. Estas curvas se verificaron en mediciones realizadas durante pruebas en los laboratorios del Plan Ceibal.

El MOS depende en gran medida del tiempo de descarga total de las páginas Web, por lo que si se comparan los escenarios con tecnología Mesh y Wi-Fi, se puede identificar que este último presenta un MOS superior considerando la misma demanda de tráfico.

Desarrollo de una herramienta para estimación de la calidad de la experiencia de los usuarios de una instrumentación a gran escala de “una computadora portátil por niño”

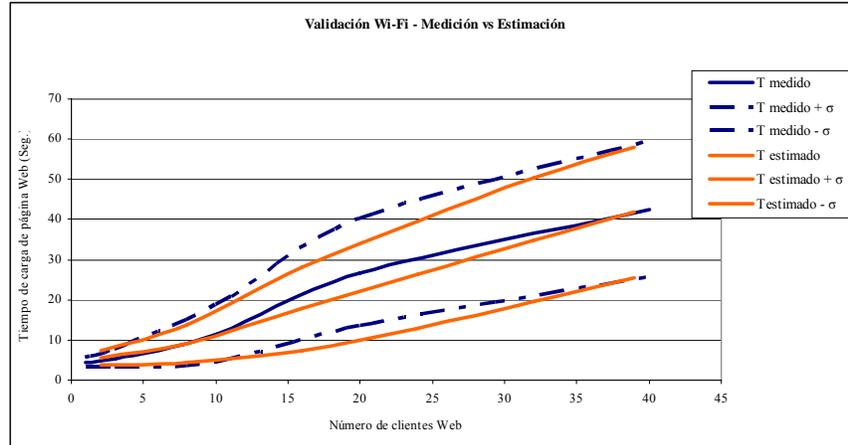


Figura 5. Gráfico de comparación entre valores de tiempo de carga de página Web medidos en pruebas reales y valores estimados con la herramienta informática utilizando Wi-Fi.

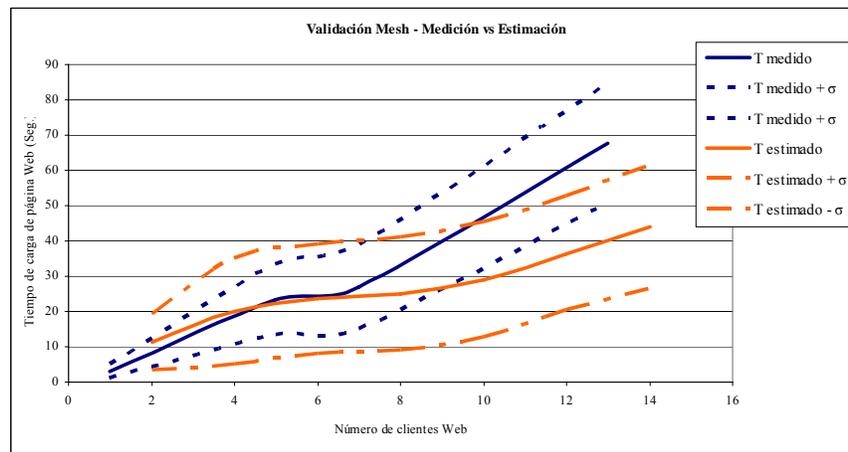


Figura 6. Gráfico de comparación entre valores de tiempo de carga de página Web medidos en pruebas reales y valores estimados con la herramienta informática utilizando Mesh.

**Resultados**

Al comparar la estimación obtenida con los resultados medidos en pruebas de campo, tanto en el estudio del desempeño de Wi-Fi como de la tecnología Mesh, se observa que la herramienta desarrollada realiza estimaciones de desempeño consistentes con un escenario real de un número reducido de laptops asociados a un cierto AP en uso concurrente. Los tiempos de carga de páginas Web resultantes de las estimaciones son muy similares a los medidos en el laboratorio en una configuración de pocos laptops asociados a un mismo AP. Al aumentar la cantidad de laptops asociados los tiempos estimados resultan inferiores a los medidos en el laboratorio.

## **Braulio Boidi, Vito Fiorentino, Gonzalo Pastorino, Fernando Fontán, Álvaro Pardo**

Cabe señalar que ante el aumento en el número de laptops, en la simulación también se identifica una alta incidencia de páginas perdidas (por expiración de tiempo de descarga) que no se verificó con la misma incidencia en las pruebas realizadas.

El parámetro RTO (round trip time) del protocolo TCP es fundamental en el control de los tiempos de retransmisión de las tramas para no congestionar la red. Se puede apreciar para algunos casos que el valor de éste parámetro aumenta y supera el tiempo de simulación. Como resultado se obtiene que un cliente no logre cargar una página completamente. Es así que la estimación resulta en un promedio de tiempos de descarga de página menor, dado que sólo se consideran las páginas recibidas completamente.

Para el estudio del desempeño de la tecnología Mesh el porcentaje de páginas perdidas también presenta diferencias entre la simulación y las medidas de laboratorio, se estima que por razones similares a las antes expresadas.

### **Conclusiones y Trabajo Futuro**

Los resultados obtenidos muestran que, bajo las mismas condiciones de tráfico y número de laptops en concurrencia, la tecnología de red Mesh utilizada en un recinto cerrado contribuye con un tráfico añadido significativo en comparación con la tecnología Wi-Fi en modo infraestructura, incidiendo en una menor calidad de experiencia de los usuarios ante iguales condiciones de demanda. En esto se trabajó conjuntamente con los técnicos del Plan Ceibal, quienes ya habían identificado oportuno desactivar el uso del protocolo Mesh en las instalaciones con adecuada cobertura de los puntos de acceso Wi-Fi instrumentados.

Sobre la herramienta desarrollada para la simulación de tráfico, estimación de desempeño de la red de acceso local y estimación de la calidad de la experiencia, se plantea desarrollar a futuro el protocolo TCP híbrido para el simulador NS-3, a efectos de determinar si este es el único factor que provoca las diferencias entre las estimaciones y las medidas reales en condiciones de mayor concurrencia de laptops en un mismo AP.

### **Referencias**

- [1] Plan Ceibal, El Proyecto Pedagógico, Uruguay, 22 de febrero 2010  
<[http://www.Ceibal.edu.uy/index.php?option=com\\_content&view=article&id=267:elproyecto&catid=63:acercade&Itemid=60](http://www.Ceibal.edu.uy/index.php?option=com_content&view=article&id=267:elproyecto&catid=63:acercade&Itemid=60)>
- [2] El computador XO, características  
<[http://www.Ceibal.edu.uy/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=84&Itemid=229](http://www.Ceibal.edu.uy/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=84&Itemid=229)>
- [3] Norma ITU G.1010, Norma ITU G.1030
- [4] Monitoreo y evaluación educativa del Plan Ceibal  
<[http://www.Ceibal.org.uy/docs/evaluacion\\_educativa\\_plan\\_Ceibal\\_resumen.pdf](http://www.Ceibal.org.uy/docs/evaluacion_educativa_plan_Ceibal_resumen.pdf)>
- [5] Arcadio Reyes Lecuona, Modelado de clientes WWW, Tesis doctoral, Universidad de Málaga, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación, España, 2001.
- [6] Proyecto Zeitgeist  
<<http://www.google.com/intl/en/press/zeitgeist2009/regional.html#uruguay>>