

EHAS: programas libres para apoyar el sistema de salud en zonas aisladas de América Latina.

Joaquín Seoane Pascual
joaquin@dit.upm.es

Arnau Sánchez Sala
arnau@gbt.tfo.upm.es

Valentín Villaroel Ortega
valentin@gbt.tfo.upm.es

Andrés Martínez Fernández
andresmf@tsc.uc3m.es

Alberto Sáez Torres
ast@gbt.tfo.upm.es

13 de septiembre de 2006

Resumen

El Programa Enlace Hispano Americano de Salud (EHAS¹) pretende contribuir a la mejora del sistema público de asistencia sanitaria en zonas rurales aisladas de países de América Latina, por medio de las telecomunicaciones y la informática. Para ello propone a puestos y centros de salud soluciones de conectividad de bajo coste aptas para zonas donde no haya teléfono ni electricidad, así como servicios adaptados a ellas, que faciliten la capacitación a distancia, las consultas remotas, el pedido de medicamentos, la vigilancia epidemiológica, etc. Estas soluciones utilizan y desarrollan software libre allá donde las condiciones lo permiten y que cada vez son más favorables.

1. Introducción

Aunque hay razones poderosas para utilizar y desarrollar software libre en países en desarrollo y, en particular, en proyectos de desarrollo, la realidad indica que su aplicación es aún limitada. Como en todas partes, su introducción empieza allá donde su uso es, sin posibilidad de discusión, la mejor solución técnica y económica. Este es el caso de las soluciones que desarrolla el programa *Enlace Hispano Americano de Salud* (EHAS), que partiendo del estudio de necesidades del personal sanitario en regiones aisladas de Perú, Nicaragua, y posteriormente de Colombia, Cuba y México, llegó a la conclusión de que con telecomunicaciones de bajo costo se podrían paliar algunos de sus problemas, como su aislamiento personal y profesional, pudiendo facilitar las consultas profesionales, la formación, el intercambio de informes, la coordinación de emergencias, el pedido de medicamentos.

Para demostrarlo, entre los años 2000 a 2002 se puso en marcha un proyecto piloto en la provincia de Alto Amazonas del departamento de Loreto en Perú, con objeto de demostrar una solución de bajo coste y evaluar su impacto. Dicho proyecto involucra al Hospital Provincial de la capital, Yurimaguas, y a 40 establecimientos de salud de dos categorías: centros de salud y puestos de salud. Los centros de salud están dotados de varias personas, al menos una de ellas médico, y suelen tener teléfono y grupo electrógeno funcionando algunas horas al día. Los puestos de salud dependen de los anteriores y sólo cuentan con una persona de formación limitada y carecen de teléfono y cualquier fuente de energía, lo que hace necesaria alimentación solar. Los desplazamientos se hacen por río y, en algunos casos pueden necesitarse varios días para moverse de un puesto de salud a su centro de referencia.

¹<http://www.ahas.org>.

La evaluación de este proyecto sugiere que además de mejorar la calidad de la asistencia sanitaria, los costes de infraestructura se amortizan en poco tiempo [?, ?]. La experiencia obtenida y la evolución de la tecnología han dado pie para definir otros nuevos en distintos escenarios, unos realizados y otros en fase de diseño e implantación. Por ejemplo, en la provincia del Cauca, en Colombia, se enlaza la capital de la provincia, Popayan, con dos hospitales rurales en zona indígena guambiana de Silvia[?], y éstos con sus puestos de salud. En fase de diseño e implantación hay extensiones de los proyectos de Loreto y Guambia y acciones nuevas en el Cuzco peruano, la costa pacífica del Cauca y la provincia de Guantánamo en Cuba.

El programa EHAS está liderado por el Grupo de Bioingeniería y Telemedicina de la Universidad Politécnica de Madrid, en su vertiente de investigación y desarrollo, y por la Asociación Madrileña de Ingeniería Sin Fronteras, en su vertiente de realización de proyectos de cooperación. Esta colaboración entre Universidad y ONG ha dado lugar a la Fundación EHAS, que será la que desarrolle el programa a partir de ahora. Cuenta con la participación de universidades e instituciones públicas en Perú, Colombia y Cuba, y es apoyado financieramente por los programas de investigación de los países participantes (Plan Nacional de I+D+I del MCyT español, Colciencias, el Concytec peruano) y programas de cooperación ordinaria (AECI, ayuntamientos, autonomías) o con una inclinación más científica o tecnológica (CYTED, Banco Mundial, Colegios profesionales, Comité de Cooperación y Solidaridad de la Universidad Politécnica de Madrid, programa ALIS de la Comunidad Europea).

A continuación se describiremos brevemente las tecnologías utilizadas y en fase de desarrollo, haciendo hincapié en el software libre empleado, modificado o construido.

2. Redes de voz y datos

Como las evaluaciones han demostrado, el principal servicio necesario y que claramente salva vidas es la simple comunicación de voz en el ámbito más local, siendo la comunicación de datos un complemento valioso, pero siempre secundario. Es por ello que la mayoría de las soluciones propuestas resuelven el problema de voz, sobre el que superponen un sistema de datos con bajo coste adicional.

2.1. Microrredes VHF

En zonas como los llanos selváticos de Alto Amazonas o los valles de Guambia, con establecimientos separados decenas de kilómetros, sin teléfono, la infraestructura más sencilla y usada para comunicar los puestos de salud con su centro de salud es la radio VHF, ya que su alcance puede ser del orden de 40 Km, limitado por la curvatura de la tierra y los obstáculos importantes (entre los que se encuentran los árboles). Se eligen pues en estos casos radios VHF convencionales que se utilizan normalmente para voz, pero que, intermitentemente, pasan a intercambiar datos entre un ordenador cliente en el puesto de salud y un servidor situado en su centro de salud de referencia. El servidor a su vez se comunica intermitentemente con internet a través del teléfono o, en algunos casos, a través de un terminal VSAT.

2.2. Redes HF

En zonas muy aisladas, VHF no se puede utilizar. En estos casos puede utilizarse HF (onda corta) por reflexión ionosférica, salvándose distancias de centenares o miles de kilómetros. Lamentablemente HF es de muy escasa calidad y sólo puede usarse a ciertas horas, dependiendo del canal, y con protocolos y modulaciones especiales. No obstante el funcionamiento de estas redes es muy similar

a las de VHF, aunque con un radio mucho mayor, y con un servidor permanentemente alimentado y conectado a internet.

2.3. Redes VSAT

Otra solución explorada para zonas muy aisladas ha sido la utilización de satélites de baja órbita (LEO). Estos satélites no son geoestacionarios, pero pueden utilizarse cuando pasan por encima de un punto para intercambiar ficheros con muy baja energía. Pero no pueden utilizarse para voz, dependen de microsátélites compartidos de vida incierta y de equipos terrestres de cierta complejidad, por lo que se ha abandonado en favor de las redes HF. Ciertamente podría usarse la moderna telefonía satelital en la mayoría de los lugares, pero los costes actuales siguen excesivos, por lo que los enlaces satelitales geoestacionarios sólo se usan para concentrar comunicaciones que se distribuyen luego por enlaces terrestres.

2.4. Redes apoyadas en movilidad física

La idea de utilización de satélites LEO es extensible a cualquier tipo de móviles, ya sean satélites, autobuses, barcos, caballerías o personas[?, ?]. La opción más simple pero de más capacidad es el transporte físico de unidades de almacenamiento masivo, como CD o DVD, y esta posibilidad se ha adoptado en EHAS como complemento para el transporte de gran cantidad de información cuando los enlaces físicos no lo soportan, si bien en un sólo sentido.

2.5. Redes WiFi

La extensión de las redes locales inalámbricas en microondas (actualmente IEEE 802.11b) a distancias relativamente grandes ha supuesto una revolución que por supuesto no desaprovechamos. A pesar de no haber sido expresamente diseñadas para ello, su regulación liberal y su consiguiente bajo coste hacen de ellas una solución que ya ha sido aprovechada (enlaces entre Popayán y dos hospitales rurales a más de 40 Km). El ancho de banda mucho mayor que las soluciones anteriores abre el camino a aplicaciones muy diferentes.

Sin embargo también plantea problemas, siendo el más importante el que ahora la voz depende de una red de datos sin soporte para calidad de servicio, por lo que ni siquiera está garantizado poder mantener una conversación. Otro inconveniente es la necesidad de que no haya obstáculo alguno entre los puntos a comunicar, algo muy caro de conseguir en selva, por ejemplo. Por ello se está explorando la posibilidad de construir redes ad-hoc con cierto soporte de calidad de servicio, construidas con encaminadores autónomos basados en Linux y alimentados con energía solar. Estas redes permitirían construir corredores inalámbricos en valles y cuencas fluviales.

3. Aplicaciones basadas en correo electrónico

Excepto en el caso de las redes inalámbricas en microondas, vemos que las soluciones propuestas se basan en conexiones intermitentes de bajo ancho de banda y utilizando medios diversos. Por ello todas las aplicaciones contempladas, que dan valor añadido a la red de comunicaciones, se construyen para poder funcionar través de correo electrónico, ya sea interpersonal, ya entre programas. Así los mensajes pueden atravesar distintos medios (radio VHF o HF, conexiones telefónicas a veces de mala calidad, o almacén intermedio en satélites LEO o un CD) sin problemas. Sin embargo, si se dispone de una conexión de velocidad aceptable para el funcionamiento interactivo, se utilizará.

Esta diversidad de soportes y transportes requiere gran independencia entre la información que se maneja y la forma en que se trata, por lo que es preciso definirla de forma suficientemente abstracta. Es por ello que se utiliza extensivamente la tecnología XML, ya sea para definir el contenido de un informe epidemiológico como para describir el contenido de un curso de formación a distancia.

En particular, para formación a distancia se está trabajando en un conjunto de herramientas para definir, editar y manipular material educativo utilizable por estudiantes conectados sólo por correo electrónico², así como en una plataforma visual de teleeducación activada por eventos de correo.

4. AX.25 y redes de banda estrecha

Para comunicar vía radio clientes y servidores, tanto en VHF como en HF, se utiliza el protocolo AX.25[?], una adaptación de X.25 realizada por radioaficionados, implementada parcialmente en Linux y, de forma cerrada, en Windows. En Alto Amazonas y el Cauca se implementó una red mixta (estaciones Windows y servidores Linux).

4.1. TCP sobre AX.25

Como las aplicaciones de correo para Windows utilizan protocolos POP y SMTP directamente, fué preciso implementar estos servicios de alguna manera sobre AX.25. En general, sea cual sea la plataforma, parece ser buena idea implementar protocolos de aplicación estándar de Internet, ya que de ese modo todos los programas diseñados para internet funcionarán directamente. Sin embargo, esto ocasiona dificultades e ineficiencias, debido al desconocimiento por parte de TCP de un medio semiduplex de elevadas tasa de error, latencia y probabilidad de colisión, lo que ocasiona repeticiones innecesarias de paquetes y detecciones falsas de congestión. Está claro que hay que impedir que TCP intervenga como protocolo de transporte y delegar la responsabilidad de gestión del enlace en AX.25, mucho mejor adaptado para ello.

4.2. Tunelado de protocolos de internet sobre AX.25

Una posibilidad de empleada con éxito en Alto Amazonas es engañar a las aplicaciones, haciéndolas hablar con sendos proxis locales de SMTP, POP o lo que sea necesario. Las conversaciones con esos proxis se trasladan al servidor por medio de AX.25, donde escuchan sus proxis complementarios, que trasladan la conversación a los servidores. Para multiplexar las distintas conversaciones de aplicación se utiliza SSH, lo que resuelve de una vez tres problemas: la multiplexación, el uso eficiente del escaso ancho de banda disponible, y la protección de información que puede ser confidencial.

4.3. Uucp sobre AX.25

No obstante, y a pesar de la eficiencia lograda con un túnel SSH, los protocolos de aplicación de internet no son del todo apropiados para una red poco fiable y de escaso ancho de banda. Tradicionalmente se ha usado *uucp* para intercambiar correo en enlaces de mala calidad, y como nuestras aplicaciones están basadas en correo, parece una opción natural optimizar éste. La venerable versión de Ian L. Taylor soporta diversos protocolos para distintos tipos de conexiones, incluidas semiduplex, permite reanudar transferencias abortadas, y es bastante eficiente. Ya se utilizó en Alto Amazonas³

²<http://mailcourse.sourceforge.net>.

³Sobre TCP.

para intercambiar correo entre los centros de salud y el conmutador central, y ahora se utiliza sobre AX.25 para transferir lotes comprimidos con *bsmtp*.

Este cambio de timón ha supuesto también el abandono de implementaciones AX.25 sobre Windows. La flexibilidad de tener fuentes abiertos para resolver este y otros problemas compensa el intentar vencer las resistencias de los usuarios a usar una plataforma libre. Y si no se puede, lo que sí se puede es trasladar toda la lógica de comunicaciones a un procesador de comunicaciones de bajo costo basado en Linux y conectado a otro ordenador por medio de una conexión ethernet.

4.4. Modulación software

Con radios comerciales de voz VHF, canalizadas a 25 KHz, se consiguen fácilmente 9600 bps, pudiéndose doblar la velocidad o reducir a la mitad la canalización si las radios y los modems son de buena calidad. Aunque se han utilizado modems externos, por razones de coste, flexibilidad y fiabilidad se ha optado por utilizar tarjetas de sonido, usando el procesador central como procesador de señal. Eso nos permite además optimizar las modulaciones. Para ello se ha utilizado directamente el paquete *soundmodem* de Thomas Sailer[?].

Con radios comerciales de voz HF, canalizadas a 3 KHz, y sometidas a fuertes interferencias y desvanecimientos, pueden utilizarse modems de HF muy caros o muy lentos (100 a 300 bps). Esto hizo necesario trabajar más en profundidad la modulación. Por ello se modificó profundamente un modem (*newqpsk*) añadido por Tomi Manninen a *soundmodem*. Dicho modem, usa 15 portadoras moduladas en DQPSK, entrelazado de bits para luchar contra los errores de ráfagas, y códigos autocorrectores. En él se sustituyó el código autocorrector por turbocódigos convolucionales, consiguiéndose alcanzar velocidades entre 1000 y 2000 bps, según la calidad del canal. Además los espacios entre portadoras nos permiten intercalar canales de *chat*, muy convenientes cuando la calidad de la voz es muy mala.

4.5. Modificaciones de AX.25

Los clientes y el servidor de una red VHF o HF compiten por la única frecuencia disponible, que usan tanto en transmisión como recepción. Para controlar el acceso al medio, en el entorno de radioaficionado se utiliza normalmente CSMA-CA: un cliente escucha si alguien está hablando y, si es así, se espera un tiempo pseudoaleatorio para intentarlo de nuevo, tanto más largo cuantas más veces se haya detectado portadora. La probabilidad de colisión y destrucción de paquetes puede ser muy grande debido a que el tiempo de conmutación entre transmisión y recepción es considerable. Y en radio no es posible detectar la colisión pronto y anular la transmisión, como se hace en ethernet.

Este es el único modo implementado en Linux, ya que suele ser el único interesante para los radioaficionados, que quieren hablar todos con todos. Además exige que todas las estaciones se escuchen entre sí, lo que implica mástiles más altos para que las antenas, generalmente omnidireccionales, se vean todas entre sí. Esto es costoso y exige potencia suficiente en las radios para llegar a todos los puntos. Sin embargo en nuestra aplicación sólo hay comunicación cliente servidor.

Una solución es la implementación, al mismo nivel de AX.25, de un protocolo de control de acceso múltiple asignado bajo demanda. Dicho protocolo permite al servidor la asignación de turnos a los clientes que simultáneamente han establecido una conexión. El protocolo se ha implementado en el núcleo de Linux de forma que funcione correctamente con interlocutores que desconozcan que se está utilizando este método de control de acceso, haciéndoles creer que el servidor está ocupado durante la rodaja de tiempo que no les corresponde. Ello fué necesario porque, de nuevo, el carácter cerrado de la implementación de AX.25 en Windows impedía cualquier modificación.

Otra modificación importante fué la retransmisión selectiva en AX.25. La modificación introducida no es compatible con el estándar, ya que permite enumerar exactamente qué paquetes se han recibido mal para sólo retransmitir esos, algo muy necesario en un entorno tan sensible a errores.

5. Estación EHAS

Para facilitar el despliegue de las tecnologías desarrolladas, se están preparando unas metadistribuciones basadas en el proyecto Gnome2-live, basado a su vez en Debian, que permita instalar y configurar fácilmente estaciones clientes y servidoras comunicables por medio de las tecnologías esbozadas más arriba.

6. Conclusiones

El software libre nos ha permitido desarrollar rápidamente con pocos recursos un conjunto de soluciones de bajo coste para mejorar las condiciones de vida en zonas aisladas y desfavorecidas. También ha ayudado el carácter relativamente abierto de la comunidad de radioaficionados. En los casos en que se ha tenido que usar software comercial, las dificultades han sido mayores, ya que se han tenido que soslayar los problemas que su carácter cerrado impedía resolver más directamente. Por ello los nuevos desarrollos se están basando exclusivamente en software libre, si bien se ofrece la oportunidad de usarlos a través de un entorno propietario, a mayor coste.