

La escuela rural salvadoreña: propuestas en materia de tecnologías de la información y la comunicación

Carlos Eugenio Martínez Cruz

Resumen

Según el último censo del Mined, El Salvador cuenta con 5,179 escuelas públicas y 1,504,255 alumnos. La zona rural dispone de 3,928 escuelas, que dan cobertura a 785,397 estudiantes. Hasta 2009 existían únicamente 190 escuelas rurales con acceso a Internet. Es decir, únicamente el 3.7 % de las escuelas rurales públicas tenían algún grado de conectividad [32]. El impacto que tiene sobre las zonas rurales la falta de acceso a las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) se ha tratado ampliamente en la literatura [1, 5, 9]. Muchos proyectos pilotos se han puesto sobre la marcha en países del Sureste Asiático, de África y de Latinoamérica [5]. De

estos, las soluciones basadas en redes inalámbricas y comunicaciones de voz sobre el protocolo de Internet (VoIP) parecen ser las más adecuadas desde el punto de vista tecnológico y económico [44]. Las soluciones basadas en redes inalámbricas y VoIP buscan ofrecer el acceso a las TIC de zonas rurales al precio más bajo, asequible para este tipo de comunidades.

Durante los últimos años la Universidad de El Salvador ha desarrollado muchas ideas que de adoptarse podrían ayudar de gran manera a la escuela rural pública. La experiencia no solo se ha adquirido en buscar soluciones de bajo costo para llevar servicios en materia de tecnologías de la información y la comunicación.

Además se ha ganado todo un cúmulo de conocimiento que puede ser transferido a los institutos tecnológicos y bachilleratos industriales. De estos se esperaría que surgieran los nuevos técnicos que además de implantar nuevos servicios sean capaces de desarrollar los mismos.

I. Antecedentes

En el año 1976, la Sociedad de Comunicaciones del Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos (IEEE, por sus siglas en inglés) dio a conocer un difícil panorama para los países latinoamericanos. La mayor parte de estos países mostraban una casi nula industria de telecomunicación. El nivel técnico de sus obreros era tremendamente escaso. Y sobre todo, lo que más quedó en evidencia fueron esos grandes segmentos de la sociedad sin acceso a servicios de telecomunicación. Por el contrario, en el primer lustro de la década de 1970 se resaltó el buen desempeño que realizaba Costa Rica [64, 68, 69].

En el año 1981, la Asamblea General de Naciones Unidas, bajo la resolución 36/40, reconoció la “importancia fundamental de las infraestructuras de comunicaciones como elemento esencial del

desarrollo económico y social de todos los países” [1, 5]. Esa resolución provocó una nueva perspectiva, girada por la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT). En el otoño de 1982, la conferencia de plenipotenciarios de la UIT —celebrada en Nairobi, Kenia— resolvió crear una comisión internacional para el desarrollo mundial de las comunicaciones, de carácter independiente y formada por miembros de renombre internacional cuyos servicios debían ser de carácter voluntario. La comisión fue creada formalmente en mayo de 1983, mediante la resolución 900 del Consejo de Administración de la UIT. La primera reunión de este comité de expertos se llevó a cabo en el mes de octubre de 1983 en Ginebra, Suiza [1]. En diciembre de 1984 publicaron el informe conocido como *The Missing Link* (o El eslabón perdido) que definió las líneas que los países en vías de desarrollo deberían de seguir para reducir la brecha tecnológica con los países desarrollados [5]. Además, el informe incluyó como prioridad resolver el desafío de dar servicios de telecomunicación a zonas rurales aisladas, como una forma de cerrar la brecha tecnológica dentro del mismo país.

Sin embargo, no fue sino hasta la celebración de la Segunda

Conferencia Mundial de Telecomunicaciones (WTDC, *World Telecommunication Development Conference*), llevada a cabo en Valetta, Malta, donde se propusieron medidas concretas para enfrentar el desafío de cerrar la brecha digital [47].

Las propuestas fueron dirigidas a identificar aquellas tecnologías más apropiadas aplicables a las condiciones de los países en vías de desarrollo. Con ese objetivo, en marzo de 1999, se creó el Grupo de Enfoque No 7 (FG7, Focus Group 7).

El informe final del FG7 fue publicado un año más tarde [5]. En este se definió el concepto de zonas rurales como aquellas que están aisladas, con muy pocos servicios (carreteras, transporte público, agua, electricidad, telefonía, Internet y saneamiento), que poseen una orografía muy accidentada, un bajo nivel de actividad económica y unos ingresos per cápita muy bajos [5]. Esas características han hecho que las zonas rurales tengan más difícil el acceso a los servicios públicos de telecomunicación, con una calidad aceptable y con unos precios asequibles.

El FG7 examinó una gran variedad de tecnologías. Así como varios proyectos existentes en muchos países en vías de desarrollo, capaces de proveer am-

plios beneficios sociales a zonas rurales. Se identificó la posibilidad de ofrecer una gran cantidad de servicios entre los cuales se pueden mencionar: la telemedicina, la teleeducación, el apoyo a pequeños comercios, la ayuda en el manejo de desastres naturales, por mencionar unos cuantos.

Tomando como criterio la instalación y el mantenimiento, el FG7 encontró que las soluciones inalámbricas eran las más adecuadas para las zonas rurales [5]. El FG7 investigó tecnologías en las que era fácil expandir el número de aplicaciones; también, investigó aquellas en las cuales el costo por línea era reducido. Entre las posibles soluciones el FG7 enumeró las siguientes:

- A. Sistema satelital con antena de pequeña apertura (VSAT, *Very Small Aperture Terminal*). Su introducción en la década de 1980 acabó desplazando a las grandes estaciones terrenas. Su fácil instalación hace de ella una tecnología muy atractiva.
- B. Combinación de enlaces punto a multipunto y sistemas inalámbricos de corta distancia (WLL, *Wireless Local Loop*). El alcance y la capacidad del sistema dependen de la fre-

cuencia de trabajo. Algunas tecnologías clasificadas dentro de este sistema son: WiMax y LMDS.

- C. CDMA450 y GSM400. Son sistemas celulares implementados en la banda de los 450 MHz, caída ya en desuso por los operadores de telefonía móvil. El uso de esta banda del espectro permite cubrir áreas mayores que las cubiertas con la telefonía celular tradicional de 800-900 MHz y 1800-1900 MHz. Un trabajo de graduación presentado en 2007 mostró las posibilidades que esta tecnología tendría en la zona rural de El Salvador. [49]
- D. Sistemas celulares de tercera generación. También, temporalmente llegaron a ser conocidos como sistemas IMT-2000. Hoy en día es más común conocerlo como sistema de datos de alta velocidad de tercera generación (3G+ o 3.5G).
- E. Redes de *routers* inalámbricos y transmisión de voz sobre el protocolo de Internet (VoIP). Tienen el potencial de ahorrar costos. El FG7 recomendó probar, sobre todo, esta tecnología mediante proyectos pilotos. La idea principal debía ser probar la robustez de las redes mediante el desarrollo de aplicaciones en tele-

medicina, teleenseñanza, etc.

La intuición del FG7 quedó manifiesta al sugerir la investigación sobre telefonía inalámbrica basada en el protocolo de Internet, a pesar de que en el año 2000, fecha en que se escribió el informe, apenas se habían desarrollado algunos experimentos exitosos.¹ Hasta mayo de 2000, fecha en que se terminó de redactar el informe final del FG7, no se tenía conocimiento más que de un experimento exitoso que involucraba un *router* inalámbrico y el servicio de telefonía [5].

Nada dijo el FG7 sobre dos nuevos estándares introducidos apenas un año atrás, en 1999. El IEEE presentó dos versiones mejoradas del estándar 802.11, introducido en 1997, que alcanzaban velocidades máximas de 11 Mbps (802.11b) y de 54 Mbps (802.11a). Quizá la explicación más sencilla de aquella omisión fue la naturaleza que inspiró a aquel estándar, el cual fue orientado como una extensión sin hilos de una red de área local (WLAN, del inglés *Wire-*

¹ En el año 2000 se concedió el premio Stockholm Challenge Award en la categoría Igualdad en el Acceso al proyecto Manguzi Wireless Internet, mediante el cual se extendió el servicio de Internet de manera inalámbrica en un radio de 5 kilómetros en una zona rural aislada de Suráfrica.

less Local Area Network). Es decir, el nuevo estándar iba dirigido a satisfacer necesidades de acceso de pequeños hogares y de pequeñas oficinas (SoHo, del inglés *Small office Home office*).

El informe del FG7 se dio a conocer apenas un mes antes de la reunión mundial de jefes de Estado de septiembre de 2000, celebrada en la ciudad de New York. Uno de los resultados de aquella asamblea fue la ratificación de la Declaración del Milenio, por la que los jefes de Estado se comprometieron a reducir la pobreza de sus ciudadanos siguiendo la agenda Objetivos de Desarrollo del Milenio. En la declaración quedó claro el compromiso de asegurar “los beneficios de las nuevas tecnologías, especialmente las tecnologías de la información y las comunicaciones” [43]. También, se propuso la utilización de energías renovables, como una forma de resolver la carencia de fuentes de energía en las zonas rurales [5]. Era evidente que, según lo describió el informe, la falta de energía eléctrica era uno de los principales obstáculos que impedían la expansión de los servicios de telecomunicación. El FG7 instó a los gobiernos y a los diferentes organismos de cooperación a considerar la constitución de equipos de especialistas en materia de energías renovables y en materia

de TIC.

En un informe publicado en mayo de 2011, Frank La Rue, relator especial sobre promoción y protección del derecho a la libertad de opinión y de expresión de la Organización de las Naciones Unidas, declaró que:

Dado que Internet ha llegado a ser un instrumento indispensable en la realización de una serie de derechos humanos, en la lucha contra la desigualdad, en la aceleración del desarrollo y el progreso humano, el acceso a Internet debería ser una prioridad de todos los estados. Cada estado debería desarrollar políticas concretas y efectivas, en coordinación con todos los sectores de la sociedad, incluyendo el sector privado y los ministerios de gobierno, de tal manera de hacer de Internet un servicio ampliamente disponible y asequible a todos los segmentos de la población.

A nivel internacional, el informe instó a los países desarrollados a cooperar con los países en vías de desarrollo mediante el intercambio tecnológico; todo dentro del marco de los objetivos del milenio, de tal suerte que se facilite el acceso uni-

versal a Internet. Pero sobre todo, el informe cerró su análisis instando a todos los estados a “incluir en la currícula escolar el desarrollo de habilidades en el uso de Internet y en el apoyo de iniciativas similares fuera de la escuela” [50].

No cabe duda que el informe fue influenciado por el contexto político internacional del año 2011. Durante ese año se produjeron rebeliones en el norte de África y en Oriente Medio. A estos la prensa anglosajona bautizó con el nombre de “La Primavera Árabe” o *The Arab Spring*. Túnez, Egipto, Libia, Bahrein, Yemen y Siria vivieron diferentes tipos de rebelión. Internet y muchas tecnologías asociadas a esta jugaron un papel importante en la comunicación que existió entre los ciudadanos de esos países. El informe antes citado abogó sobre todo por universalizar el acceso y por hacer cumplir el derecho de libertad de expresión [7, 10].

Durante la segunda mitad de la década de 1990, en El Salvador se dieron importantes transformaciones en el sector de las telecomunicaciones. Teniendo como objetivo la venta de la empresa nacional de telecomunicaciones (Antel), se separó de esta su potestad regulatoria. En septiembre de 1996 se creó la Superintendencia de Electricidad y

Telecomunicaciones (Siget). Dos años más tarde, en 1998, Antel fue privatizada. Ese mismo año, la Asamblea Legislativa aprobó la Ley del Fondo de Inversión en Electricidad y Telecomunicaciones (FINET), por la que el Estado reconoció:

Que los servicios de electricidad y [de] telefonía, son factores determinantes para el desarrollo económico y social de la población, por lo que es necesario dictar las normas para asegurar la más amplia cobertura de los mismos en todo el territorio nacional, y en especial a los sectores rurales y los de menos ingresos de la población.

En su artículo tercero la Ley Finet dejó claro que su objetivo era facilitar el acceso de los servicios de electricidad y de telefonía a los sectores rurales y a los de menor ingreso [2, 3].

En principio, los recursos económicos para la extensión de la cobertura de electricidad y de telefonía a las zonas rurales provendrían de la Siget. Para ello se accedería a casi la totalidad del dinero generado por el otorgamiento de licencias para explotar el espectro radioeléctrico, al

dinero obtenido por autorización de operación de servicios de telecomunicación, al dinero obtenido por la operación de recursos hidráulicos y geotérmicos y al obtenido en concepto de multas.

Por una parte, en cuanto a programas de electrificación rural, apenas se realizó un esfuerzo notorio, pues todavía un porcentaje muy alto de la población rural —en torno al 20 %— carece de energía eléctrica. Por otra parte, contrario al mandato de la Ley Finet, nunca se realizaron esfuerzos por extender a las zonas rurales los servicios de telefonía.

Solo se tiene evidencia de un único proyecto que utilizó los fondos de la privatización de Antel para mejorar el acceso a las TIC de las zonas rurales de El Salvador. Siguiendo las tendencias de la segunda mitad de la década de 1990 —originadas a partir de la masificación en el uso de Internet y del apoyo de organizaciones que como el Banco Mundial dieron a proyectos de carácter social que introducían el uso de tecnología [62]— el Estado salvadoreño concedió un generoso crédito a una organización privada para que instalara 100 Telecentros [48]. Utilizaron fondos obtenidos de la privatización de Antel, se concedió un préstamo por US\$ 10 millones de dólares, cuatro años

de gracia y 0 % de interés a la organización privada sin fines de lucro Asociación Infocentros. Hacia finales de 2004, contaba con 41 infocentros diseminados, la mayor parte de ellos en las principales ciudades de El Salvador [46]. Hacia el año 2009, el proyecto de telecentros terminó sin llegar a concluir sus objetivos.

A iniciativa de ONGs, de agencias para el desarrollo y de organismos financieros internacionales, se están llevando a cabo proyectos de electrificación rural basados en sistemas solares fotovoltaicos. Uno de estos proyectos, que además incluye una componente de telecomunicación, fue el proyecto europeo Eurosolar [38]. En mayo de 2008 se sometió a licitación la instalación de 600 sistemas solares fotovoltaicos que incluyeron una componente de acceso a Internet y telefonía VoIP mediante enlaces satelitales [29]. Dichos sistemas fueron distribuidos en ocho países de Latinoamérica. En su mayor parte, el proyecto fue financiado por la Unión Europea. En cada uno de los países se contó con una contraparte gubernamental. En El Salvador la contraparte del proyecto fue el Ministerio de Educación (Mined). Cuarenta y ocho sistemas fueron instalados en centros escolares rurales. Cada uno

	Nacional			Chalatenango			Usulután		
	Urbano	Rural	Total	Urbano	Rural	Total	Urbano	Rural	Total
Escuelas	1,251	3,928	5,179	83	334	417	100	365	465
Alumnos	718,858	785,397	1,504,255	25,769	34,797	60,566	47,943	58,092	106,035
Profesores	24,408	22,967	47,375	1,026	1,338	2,364	1,683	2,043	3,726
Teléfonos	1,092	1,139	2,231	68	101	169	79	75	154
PCs	711	732	1,443	63	62	125	59	64	123
Internet	619	190	809	47	13	60	48	18	66

Tabla 1: Algunos indicadores sobre las escuelas públicas de El Salvador. A manera de ejemplo, se incluye el detalle de los departamentos de Chalatenango y de Usulután.

de estos sistemas cuenta con un sistema que permite la conectividad a Internet mediante un enlace satelital VSAT. La componente de servicio telefónico VoIP no llegó a completarse. También, el gobierno de Estados Unidos realizó un donativo de más de US\$ 400 millones de dólares. Una componente importante de esta donación (US\$ 36 millones) se destinó a incrementar los niveles de acceso de energía eléctrica de la zona norte de El Salvador, mediante la construcción de más de 1,000 kilómetros de líneas de distribución y la instalación de casi 2,000 sistemas solares fotovoltaicos aislados [30].

2. La brecha digital en la escuela pública rural

Según el último censo del Mined, El Salvador cuenta con 6,162 centros escolares que dan cobertura a 1,737,886 estudiantes. Del total de instituciones educativas, únicamente 5,179 (84 %) forman parte de la red de educación pública; que

da cobertura a 1,504,255 (87 %) alumnos [32]. Según se observa en la Tabla 1, del total de centros públicos, 3,928 se encuentran en la zona rural. Estos dan cobertura a 785,397 estudiantes, que representan el 52 % de la población atendida por el sistema público. El grado de dispersión de la escuela rural pública es evidente puesto que se necesita de tres cuartas partes del total de escuelas para dar cobertura a la mitad de la población estudiantil.

De la Tabla 1 se observa que el número de centros escolares rurales que cuentan con acceso a Internet es muy reducido. Hasta 2009 existían 190 escuelas con acceso a Internet, las cuales representan al 3.7 % de las instituciones públicas. La escuela pública urbana tampoco está muy favorecida, pues únicamente 619 centros educativos cuentan con acceso. Juntas, la escuela urbana y la escuela rural, representan apenas el 15 % de escuelas públicas conectadas a Internet.

A manera de ejemplo, en la

Tabla 1 se presenta la situación de dos departamentos. El 80 % y el 78 % de las escuelas de Chalatenango y de Usulután, respectivamente, se encuentran clasificadas como rurales. En Chalatenango y en Usulután se tiene que solamente el 3.1 % y el 3.8 %, respectivamente, de las escuelas rurales tiene acceso a Internet. En ambos departamentos la población estudiantil rural forma más del 55 % del total de estudiantes.

En general, ahí donde los hay, los servicios de electricidad, teléfono y agua son solicitados y pagados directamente por cada centro escolar. No sucede lo mismo con el servicio de Internet, el cual es contratado cada año por el Mined mediante licitación. Sin embargo, el Mined apenas paga el servicio a medio millar de escuelas. Otro tanto similar de centros escolares asumen como pueden el costo del servicio de Internet.

Desde las oficinas del ministerio se decide quiénes y qué ancho de banda dispondrá cada centro escolar. Así, para el año 2012, el Mined solicitó los servicios de acceso a Internet para 546 centros escolares. Observadas con detenimiento, las bases del concurso público se obtiene información muy importante. El Mined solicitó velocidades de acceso de 256 kbps para 276 escuelas, 512

kbps para 264 escuelas y 1024 kbps para 6 escuelas. En total, el ancho de banda solicitado fue igual a 207 Mbps. La tasa de sobre suscripción solicitada fue de 1/5. Es decir, el proveedor de Internet puede permitirse vender el mismo servicio—ancho de banda—a cinco usuarios diferentes. Si se considera el factor de sobre suscripción, se tiene que el proveedor de Internet únicamente tiene que distribuir 41.4 Mbps.

El razonamiento anterior permite determinar el precio que el Mined pagará por el servicio de Internet. Si se divide el precio a pagar, que es igual a US\$ 542,248.00, entre 207 Mbps se obtiene que el Mined pagará por cada Mbps la cantidad de US\$ 2,620.00. Ya que el servicio tendrá una duración de 10 meses, se tiene que el precio mensual por cada Mbps es de US\$ 262.00. El precio mensual de US\$ 262.00 por 1 Mbps, con factor de sobre suscripción 1/5, es a todas luces desproporcionado. Mediante módem ADSL, los proveedores locales distribuyen el mismo servicio de Internet con precios inferiores a los US\$ 20.00. Es evidente que el Mined pagará más de 12 veces el precio actual de mercado².

2 Una de las empresas de telefonía lanzó en 2011 una promoción

Pero, los cálculos realizados también permiten entender la rentabilidad que los grandes proveedores del servicio de Internet obtienen por cada Mbps distribuido. Como ya se dijo, el proveedor de Internet necesita disponer únicamente de 41.4 Mbps de ancho de banda, pues aprovechando el concepto de sobresuscripción multiplicará por cinco ese número. Es decir, el precio real al que el proveedor de Internet factura cada Mbps es cinco veces mayor. En el caso del Mined, se puede decir que cada Mbps le costará mensualmente US\$ 1,392. Vale la pena decir que en El Salvador el precio por Mbps es muy alto. En 2011 varias universidades capitalinas consultadas pagaron precios que oscilaron entre US\$350 y US\$500.00 mensuales por cada Mbps contratado.

El análisis anterior permite realizar un par de ejercicios económicos muy sencillos. El primero es en relación al precio que pagaría el Mined si se plantease asumir el costo de proveer el servicio de Internet. Si El Salvador cuenta con casi 4,000 escuelas rurales y si, por ejemplo, a un precio de US\$ 1,392, se pretende ofrecer a cada escuela 1 Mbps, sin factor donde por US\$11.30 ofreció el servicio de teléfono fijo e Internet a 256 kbps [23].

de sobresuscripción, el servicio de Internet para la escuela rural requeriría un presupuesto de US\$ 5,568,000.00 mensuales.

El resultado anterior conduce a la pregunta: ¿Por qué el Mined como un gran consumidor de Internet sigue pagando precios exageradamente caros? La respuesta tiene varias explicaciones. En primer lugar, está la manera en la que el Mined solicita la contratación del servicio. Al requerir en una sola licitación la contratación del servicio de Internet para escuelas dispersas por todo el territorio nacional, el ministerio se pone a merced de la única empresa que heredó la antigua red de telefonía básica. Hasta la fecha, parece ser que los otros grandes operadores de telefonía móvil no tienen la capacidad de competir y deshacer el contrato que por tradición se ha concedido al operador mayoritario de la red de telefonía fija. Sin embargo, si se reflexiona sobre los anchos de banda contratados (256 kbps y 512 kbps) y los precios que paga el Mined, lo anterior queda en entredicho. Por otra parte, está la falta de ideas de parte de los funcionarios del Mined para optimizar la escasez de recursos. Así, por ejemplo, si en vez de una única licitación se transfiere a las escuelas el dinero para que ellas busquen y

contraten el servicio de Internet se podrían tener mayores y más baratos anchos de banda. Como ya se dijo, casi medio millar de escuelas contratan con sus propios medios el servicio de Internet. Estas han sido capaces de realizar contratos más baratos con anchos de banda superiores a los de las escuelas que utilizan el servicio contratado por el Mined.

Otro ejemplo del alto costo del servicio de Internet lo representan las 48 escuelas del proyecto Eurosolar [38]. Como ya se dijo, el kit incluyó una componente de conexión a Internet vía satélite y la activación del servicio de telefonía VoIP. Al haber aceptado el kit del proyecto, el Mined asumió el costo de llevar el servicio de Internet y de telefonía mediante enlace satelital. El servicio de telefonía fue descartado de manera unilateral por el ministerio. Por otra parte, según lo expresó uno de los funcionarios del Mined, se contrató el servicio de Internet únicamente a 45 escuelas. Las restantes fueron víctima del robo y carecen total o parcialmente de las computadoras portátiles del kit. El servicio de Internet fue contratado para nueve meses, en el periodo comprendido entre abril y diciembre de 2012. A cada centro escolar se le dotó de un servicio de 512 kbps en enlace de bajada y 256 kbps en enlace de

subida, con un límite máximo de descarga diario de 250 MB. La erogación total que realizó el Mined fue de US\$ 118,314.00. En promedio, el costo del servicio de Internet VSAT para cada centro escolar fue de US\$ 2,436.00. Esa cantidad equivale a una factura mensual de US\$ 274.00 por cada centro escolar.

Tomando como ejemplo el municipio de Berlín, Usulután, donde existen 32 escuelas, de las cuales 26 (81 %) se encuentran clasificadas como rurales, se puede hacer una interesante comparación. En el año 2010, se instalaron 7 sistemas Eurosolar. Al mismo tiempo, como parte del kit, se instaló un sistema de comunicación vía satélite del tipo VSAT. El costo de cada estación VSAT superó los US\$ 2,000.00. No fue sino hasta 2012 que se activó el servicio de Internet satelital. En total, las siete escuelas dan cobertura a 626 estudiantes y a 20 profesores. Juntas suman en total 28 computadoras. Para el año escolar 2012, las escuelas Eurosolar de Berlín representaron un costo de US\$ 18,396.00. Por otra parte, a través de otra partida económica, el Mined únicamente ha asumido el costo de tres centros escolares del municipio de Berlín, ubicados en el casco urbano. Estos centros escolares son: el Instituto Nacio-

nal de Berlín (512 kbps), el centro escolar Meardi (256 kbps) y el centro escolar Loma Alta (256 kbps). Juntos, los tres suman casi 2,000 estudiantes y más de 50 profesores. Además, las tres instituciones suman más de 80 computadoras. El ancho de banda contratado suma apenas 1 Mbps, con un factor de sobre suscripción de 1:5. Compárese esto frente a los de 3.5 Mbps de ancho de banda mediante enlace vía satélite destinado a las escuelas Eurosolar del mismo municipio.

La situación generada por el costo del servicio de Internet de las escuelas del proyecto Eurosolar conduce a hacer muchas reflexiones. Tal como puede observarse, en el municipio de Berlín la diferencia en acceso a Internet ha dado un giro muy fuerte. Y es aquí donde surgen las preguntas: ¿No sería necesario robustecer el acceso de los centros urbanos de mayor demanda estudiantil? ¿Se justifica el costo de la escuela Eurosolar? Dado que el servicio de la escuela rural es sobre todo en los primeros seis años de educación y los niveles más altos son proveídos en los cascos urbanos, ¿cuán importante es enfocarse en la zona rural? ¿Existen soluciones que se adecúen a los diferentes tipos de escuelas según su localización (rural/urbana), población, cober-

tura e infraestructura?

Como una última reflexión, vale la pena comentar que el servicio de Internet mediante VSAT tiene sentido en algunas zonas remotas de Suramérica. Donde el aislamiento, como es el caso de la cordillera de los Andes, hacen casi imposible pensar en otra tecnología. Sin embargo, en El Salvador las soluciones basadas en sistemas VSAT son, cuando menos, descabelladas.

El reto de llevar el servicio de Internet a la escuela rural pública requiere de mucha imaginación. Una solución podría surgir si se analiza el servicio de televisión por cable. En los últimos diez años, la red de fibra óptica de los proveedores de televisión por cable ha tenido un incremento significativo. Al mismo tiempo, estos han sido capaces de integrar los servicios de telefonía fija e Internet. Los operadores más importantes tienen presencia en la mayor parte de los grandes centros urbanos. No es posible imaginar el futuro de la expansión del servicio de Internet en la escuela pública sin tener en consideración la expansión de una red de fibra óptica.

La utilización de la red de fibra óptica para interconectar escuelas públicas es una idea que aún no se ha considerado. Sin

embargo, un plan a largo plazo no debería de ignorar esta idea. Pues al igual que como ha pasado con la Universidad de El Salvador, que goza de la interconexión de sus cuatro campus mediante la red de fibra óptica de su proveedor de Internet, la escuela pública debería apostar por contar con puntos de interconexión mediante enlaces de fibra óptica. Con esto no se pretende decir que el Mined o el Estado salvadoreño debería construir su propia red. Pero sí debería de empezar la planificación de la interconexión de los centros escolares urbanos más importantes mediante enlaces de fibra óptica. El servicio a la escuela rural se podría extender desde la escuela urbana mediante tecnologías inalámbricas de bajo costo.

3. ICT4D

Según lo han resaltado los estudiosos del tema, el concepto de “tecnologías de la información y la comunicación para el desarrollo” —cuyo acrónimo puede variar desde ICTD, ICT4D, ICT4Dev a ICT4B— surgió en los países escandinavos [62]. Hacia finales de la década de 1990, el concepto de ICT4D empezó a resonar en algunas escuelas de telecomunicación de los países de habla hispana.

Sin embargo, en aquellos años se utilizaba el término tecnologías apropiadas. Una de aquellas experiencias fue el proyecto Enlace Hispanoamericano de Salud [26], iniciado en 1997, cuyo fin fue el “promover el uso apropiado de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TIC) para mejorar los procesos de salud en zonas rurales aisladas de países en desarrollo.”

En términos generales, la ICT4D puede segmentarse según el campo en el que vaya a aplicarse. Así, por enumerar unos pocos ejemplos, se tienen aplicaciones en salud, en educación, en negocios, en agricultura y en gobiernos locales. Desde su origen, ICT4D encontró un lugar privilegiado en el desarrollo de la educación de las zonas rurales más empobrecidas.

Mucho esfuerzo y financiamiento se ha puesto en el desarrollo de computadoras de bajo costo y en el aprendizaje auxiliado por computadora. Uno de los proyectos más ambiciosos que buscó la asequibilidad de la computadora a los pobres, con mucha atención mediática, fue el desarrollado por Nicolas Negroponte, del *Media Lab* en el Instituto Tecnológico de Massachusetts [17]. El proyecto fue bautizado con el acrónimo OLPC (del inglés *one laptop per child*). Su objetivo funda-

mental ha sido el producir computadoras portátiles a un precio de US\$ 100.00. Para el año 2012, OLPC espera introducir en el mercado una tableta de bajo costo por debajo de los US\$ 75.00 [6]. También, en octubre de 2011, el gobierno de la India desveló su proyecto de utilizar una tableta de bajo costo, valorada en US\$ 35 [15].

El impacto mediático del proyecto OLPC caló en algunos funcionarios que desarrollan programas tecnológicos dentro del Mined. Aprovechando una donación realizada por una empresa privada y dos más realizadas por la cooperación internacional se han desarrollado pequeños proyectos pilotos en materia de introducción de la OLPC. En el año 2007, la empresa Telecom (América Móvil de México) acordó la donación de 2500 OLPC. En 2009, la Comunidad Autónoma de Madrid, mediante el convenio “Integración de la OLPC en Educación Básica”, donó casi 400 ejemplares [4]. Estos fueron destinados a cinco centros escolares del municipio Nombre de Jesús, en el departamento de Chalatenango. En septiembre de 2011, el gobierno taiwanés hizo efectiva una importante donación (US\$ 1,000,000.00) dirigida a la incorporación de la OLPC en 26 centros escolares (18 en Santa Ana y 8 en Chalatenango) [32].

La computadora OLPC viene dotada con capacidad de conexión a Internet inalámbrico, mediante el estándar IEEE 802.11s [17]. Este estándar permite que un grupo de computadoras formen una red con topología malla (*mesh networking*, en inglés). Es decir, es posible establecer comunicación entre las diferentes computadoras. Al encenderse una OLPC, esta busca, de manera automática, la forma de comunicarse con sus vecinos. Sin embargo, la capacidad de conexión a Internet está totalmente desaprovechada si no se le dota de tal acceso.

Al mismo tiempo que el Mined intenta encauzar los fondos de las donaciones y de la cooperación internacional, dotando a las escuelas de computadoras OLPC, también hace un esfuerzo por llevar acceso a Internet a la zona norte de El Salvador. Pero, se observa una descoordinación en sus planes. Por una parte, como ya se dijo, 18 escuelas del norte del departamento de Santa Ana serán dotadas con OLPC. Por otra parte, estas no fueron incluidas bajo ninguno de los dos proyectos de conectividad inalámbrica.

El más grande de los dos proyectos se obtuvo a partir de un convenio firmado entre el Mined y la Siget. Este salió a licitación en septiembre de 2011 bajo el nombre:

“Diseño, suministro, instalación y puesta en operación en pleno funcionamiento de la infraestructura para la interconexión entre centros educativos públicos de la zona norte del país y la sede central del Mined en San Salvador, a través de una red de transporte de datos” [24]. Fundamentalmente consiste en la construcción de una red inalámbrica que daría acceso a Internet a 249 centros escolares de la zona norte de El Salvador. Después de un año la red pasaría a ser administrada por el Mined. Para su licitación fue dividido en cinco componentes, a saber: red de acceso, red de transporte, sistema de gestión y seguridad, capacitación al personal del Mined y, por último, el servicio de Internet (40 Mbps) contratado por un año.

El segundo proyecto fue lanzado casi al mismo tiempo que el anterior. Su financiamiento se cargó a fondos que el Mined obtuvo de la Unión Europea. El proyecto fue denominado: “Servicios de instalación y configuración de infraestructura básica de red inalámbrica para provisión de servicios de Internet en centros educativos”. La red inalámbrica propuesta daría acceso a 77 centros educativos urbanos, dispersos por 7 departamentos de El Salvador. La mayor parte de centros escolares estarían ubicados en las

capitales de los departamentos de Sonsonate (36) Santa Ana (19) y San Vicente (10) [24]. Según el censo de 2009, de los 77 centros escolares propuestos, 53 ya cuentan con el servicio de Internet y 13 no cuentan con computadoras. La explicación que funcionarios del Mined dieron al por qué decidieron formar una red de acceso a Internet con centros escolares que ya tienen el servicio fue que sería un “plan piloto de acceso inalámbrico para zonas urbanas”.

Ambos proyectos salieron a licitación en septiembre de 2011. Los montos destinados fueron de US\$ 1,500,000.00 y de US\$ 750,000.00 por los proyectos de 249 y de 77 escuelas, respectivamente. Ambas licitaciones fueron declaradas desiertas. Los requisitos establecidos en los procesos de licitación y el poco margen de tiempo necesario para escribir las propuestas fueron los señalamientos que realizaron las empresas que decidieron conocer más de cerca los proyectos. Sin embargo, se consultó a dos de las empresas de telecomunicaciones conecedoras de los proyectos del Mined. Ambas dejaron claro que el negocio está en gestionar la red y en distribuir el servicio. Es decir, el dinero está en cobrar por Mbps distribuido y no en la construcción de una red inalámbrica. Una

de las empresas incluso mostró su estudio económico, señalando que la inversión no justificaba el margen de retorno. Ese estudio económico se basaba exclusivamente en la construcción de forma separada de las dos redes utilizando tecnología WiMax.

En ambas licitaciones el Mined solicitó que “una vez implementada la infraestructura [de red inalámbrica], esta será completamente autónoma e independiente de cualquier proveedor nacional o internacional”. Con ello, el ministerio dejó patente cierta frustración en cuanto al servicio de Internet hasta ahora contratado; pues pretende tener mayor margen en cuanto a contratación de proveedores. Y no es para menos, si se tiene en consideración el precio que hasta la fecha ha pagado. Sin embargo, la solución de querer administrar su propia red de transporte y distribución parece un giro demasiado radical y muy poco meditado. Dejando a un lado el discurso de que el Estado es un mal administrador de servicios y centrándose en el análisis de la construcción de una red inalámbrica se pueden argumentar un par de cosas en contra de esa idea. Por una parte, está la escalabilidad. El incremento en la velocidad de acceso requiere de más ancho de banda espectral, medido en

Mhz. El espectro radioeléctrico es un bien muy escaso. A largo plazo el Estado salvadoreño se vería en una situación muy comprometida cuando quisiera ampliar el número de centros escolares; y cuando requiera ofrecer mayor velocidad de acceso. Por otra parte, está el tipo de tecnología a utilizar. Todo apunta a que se construirá una red WiMax. Si bien es cierto que desde su inicio en 2001, WiMax ha evolucionado muchísimo, este estándar no ha acabado de adoptarse por los grandes operadores de telecomunicación debido a una mala relación costo-rendimiento. Su utilización por las empresas ha sido más bien marginal.

Otra crítica a la red propuesta por el Mined puede hacerse en cuanto a la selección de los centros escolares. La falta de coordinación dentro del Mined queda manifiesta al dotar en muchos casos de forma excluyente computadoras y servicio de Internet. Analizando los centros escolares que se incluyeron en los proyectos antes citados, se observa que ninguno de estos incluyó a los doce centros escolares del municipio Santa Rosa de Guachipilín, como tampoco los seis centros del municipio de Metapán. Como se comentó anteriormente, 18 escuelas de ambos municipios fueron dotadas con computadoras.

Muy grave resulta el hecho de que de las 249 escuelas del proyecto Siget-Mined, 135 no cuentan con computadoras; también, 68 centros escolares ya cuentan con acceso a Internet. Pero quizá más insólito resulta el hecho de que más de media docena de centros escolares han sido incluidos en tres diferentes proyectos que pretenden llevar acceso a las escuelas de la zona norte de El Salvador.

Como una forma de hacer más atractiva la construcción de la red inalámbrica, para el 2012 el Mined pretende unificar los dos proyectos en una sola licitación. Lo más probable es que se lance en una sola oferta la interconexión de los 326 centros escolares. Quizá al final de la mitad de 2012 se sepa si alguna empresa tuvo interés en construir la red. Sin embargo, y tal como se argumentó anteriormente, la solución hasta la fecha considerada no tiene perspectiva en cuanto a escalabilidad y a solución tecnológica.

4. Hardware, software y espectro radioeléctrico libre

Durante los últimos siete años, la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador ha estado probando tecnologías de comunicación y acceso a redes de

bajo costo basadas en el estándar IEEE 802.11 [13, 53, 54, 59, 60]. Este estándar presenta características que lo hacen muy atractivo en la implementación de sistemas de telecomunicaciones inalámbricos de costo asequible. Su rápida expansión se basa en que opera en un segmento de frecuencia libre. Esa parte del espectro radioeléctrico fue establecido por la Unión Internacional de las Telecomunicaciones para uso industrial, científico y médico. Por citar dos ejemplos, en ese mismo segmento del espectro radioeléctrico operan dispositivos de uso doméstico como el horno microondas y el teléfono sin hilos (DECT, del inglés *Digital Enhanced Cordless Telecommunications*). La utilización de un segmento del espectro radioeléctrico que no requiere la adquisición de una licencia permite operar sin necesidad de recurrir a permisos burocráticos y costosos dentro de la Siget.

El concepto de *software* libre ha entrado a su etapa de madurez, con presencia notable en la sociedad; su buque insignia es el sistema operativo Linux. El *software* libre se basa en cuatro libertades, no siempre respetadas: (1) usar el código fuente, (2) adaptarlo a las propias necesidades, (3) distribuirlo e (4) introducir mejoras que deben revertir a la comunidad. Es impres-



(a)



(b)



(c)

Figura 1. Router telefónico de *hardware* y de *software* libre, MPO1 (modelo manufacturado por ATCOM); (b) Router inalámbrico NanoStatio 2 (Ubiquitis); y (c) Router inalámbrico Bullet 2 (Ubiquitis).

cindible que el código fuente sea abierto y no propietario —es aquí donde las grandes empresas violan su naturaleza—. Bajo los mismos principios que se rige el *software* libre fue introducido el concepto de hardware libre (OSHW, del inglés *Open Source Hardware*). Así, empresas grandes han hecho suyos esos mismos principios. La primera semana de abril de 2011, la empresa Facebook sorprendió al mundo desvelando su proyecto *Open Computer Project* mediante el cual publicaron todos los requerimientos y especificaciones técnicas de lo que debe ser su centro de datos y sistema de servidores [35].

En el segundo lustro de la década de 2000 surgió una comunidad que empezó a desarrollar la filosofía del *hardware* libre, con productos orientados a ofrecer servicios de telecomunicación y de acceso a las tecnologías de la información para zonas rurales de países en vías de desarrollo. Primero, David Rowe, en Australia, diseñó y construyó una pequeña central telefónica [67]. Dos años más tarde, la fundación Shuttleworth financió el desarrollo y la construcción de un *router* inalámbrico que integra un adaptador de teléfono analógico [44]. Por esa misma fecha, la empresa Flukso, mediante la modificación de un *router* inalámbrico, introdujo en

el mercado un medidor de consumo de energía [27]. Mediante la publicación en blog, en wiki y en diferentes servicios informáticos de actualidad, estos conocimientos en *hardware* y en *software* libres pueden servir de punta de lanza en la transformación de sociedades menos desarrolladas. A diferencia del pasado, donde los procesos de fabricación eran muy complejos, ahora, como en los ejemplos anteriormente citados, es posible manufacturar sin la necesidad de contar con una infraestructura de producción electrónica sofisticada.

Vale la pena comentar que el informe *The Missing Link* propuso también que los países en vías de desarrollo desarrollaran su propia industria de telecomunicaciones. Pocos países pudieron seguir por esa vía, entre ellos tenemos a los que actualmente forman el grupo de las economías emergentes o BRIC (Brasil, Rusia, India y China). Podría parecer aventurado proponer que los países en vías de desarrollo contribuyan al desarrollo de tecnología de telecomunicaciones. Sin embargo, el *software* y el *hardware* libres pueden permitir que con poco presupuesto se inicie la manufactura de productos electrónicos.

5. ICT4D realizado por la Universidad de El Salvador

Durante los años 2000 y 2001, la Universidad de El Salvador creó un centro que dicta las políticas de investigación. En 2001, se inauguró el Centro de Investigaciones Científicas. Ese mismo año, la Asamblea Legislativa le dotó de un presupuesto anual de US\$ 500,000.00. Hacia el año 2002 se realizó la primera convocatoria de proyectos de investigación.³ En cuanto a ICT4D, algunos de los proyectos se enfocaron en el estudio del impacto que tiene la computadora en el sistema escolar de educación media [56,57]. Otros proyectos propusieron la creación de infraestructura de telecomunicaciones de bajo costo orientada al sector salud [54, 58–60].

Las investigaciones orientadas hacia la búsqueda de tecnologías de comunicación de bajo costo para zonas rurales se continuaron a lo largo de la segunda

3 El presupuesto de investigación ha aumentado durante los últimos diez años. En el año 2010 se tuvo un presupuesto de US\$ 611,415.00. Sin embargo, vale la pena comentar que, todos los presupuestos de investigación han acabado cercenados; y sus fondos utilizados en cuestiones que nada tienen que ver con la investigación.

mitad de la década de 2000. Sobre todo, la Escuela de Ingeniería Eléctrica realizó trabajos de graduación en cuanto al acceso mediante redes inalámbricas basadas en el estándar IEEE 802.11 [13]. Sin embargo, no fue sino hasta el inicio de la presente década que se han podido probar sistemas más baratos, más robustos y con grandes perspectivas de impacto social. En 2011, se probaron dos redes tipo malla basadas en los conceptos de *software*, de *hardware* y de espectro radioeléctrico libre [12, 66]. Uno de estos experimentos tuvo como área de estudio los centros escolares del municipio de Berlín, en el departamento de Usulután. Durante 2010 se visitaron los centros escolares del municipio de Berlín, la investigación empezó como un trabajo dentro de una asignatura, que luego se extendió a otra y culminó como un trabajo de graduación [65,66]. Aparte de obtener la localización geográfica mediante un GPS (del inglés, *Global Position System*), el reconocimiento del lugar permitió evaluar detalles muy importantes sobre los sitios de emplazamiento. En los centros escolares del área urbana, por ejemplo, se buscaron sitios cuya altura pudiesen facilitar la conectividad entre ellos. Además de los centros escolares se visitaron otros sitios que en el



(a)



(b)

Figura 2. (a) Primera llamada realizada en toda la historia del Centro Escolar Alfredo Ramírez; y (b) Estudiantes del Centro Escolar Caserío San Isidro, colaborando en la instalación de un poste provisional de bambú.

futuro podrían ser de interés el incluirles a la red: las dos estaciones de radio, que ofrecen el servicio de radiodifusión en frecuencia modulada (FM, por sus siglas en inglés), el edificio de la alcaldía o la iglesia. Estos podrían servir como sitios de repetición. Otros sitios, como por ejemplo la policía, la unidad de salud y la alcaldía también podrían ser incluidos en la red.

Se escogió el municipio de Berlín por la coincidencia de un par de sucesos fortuitos. En primer lugar, existió mucha receptividad con algunos de los directores de los centros escolares y con el personal de la alcaldía, facilitando con ello la instalación del equipo de prueba. En segundo lugar, se identificó que Berlín fue uno de los municipios beneficiados con



(a)



(b)

Figura 3. Dos emplazamientos con router telefónico tipo MP01: (a) Centro Escolar Alfredo Ramírez; y (b) Azotea de la Alcaldía de Berlín (se observa a uno de los técnicos de la empresa Salnet quienes vinieron a estudiar el proyecto piloto).

el proyecto Eurosolar. Siete de los treinta y dos centros escolares del municipio de Berlín cuentan con un sistema fotovoltaico de IKW y además fueron dotados de un sistema de comunicación por Internet satelital.

El que centros escolares rurales cuenten ya con servicio de Internet permitirá investigar una de nuestras propuestas: donde un centro escolar se convierte en puerta de acceso (Gateway) a Internet para toda la comunidad. Esta idea es de mucha importancia si se requiere extender el servicio de telefonía y de Internet a todo el lugar. Siendo aún más importante

si los estudiantes disponen de una computadora similar a la del proyecto OLPC. Esto último coincide con uno de los objetivos del Ministerio de Educación salvadoreño, el dotar a los estudiantes de zonas rurales de computadoras portátiles de bajo costo.

Durante los meses de diciembre de 2010, enero y febrero de 2011 se montó una red piloto en el municipio de Berlín, Usulután. Debido a que solo se contó con tres *routers* telefónicos, ver Figura 1(a), se recurrió a la modificación de un tipo de *router* que se encontró en el mercado local (DIR300, fabricado por DLINK). La red fue

configurada para formar una malla, compuesta por una docena de *router* (nodos). De manera permanente, mientras la red pasó operativa, casi la totalidad de los nodos fueron desplegados en el casco urbano. Únicamente un nodo se situó fuera del pueblo, en el Centro Escolar Alfredo Ramírez. Durante los meses de evaluación, este formó parte de la red sin mostrar ninguna incidencia. Esta escuela se encuentra a 4 km hacia el oeste de Berlín; y goza de una posición geográfica privilegiada pues se encuentra en lo alto de una colina.

Vale la pena volver a decir que uno de los objetivos clave es buscar soluciones de bajo costo. Así, la instalación de un *router* telefónico en el Centro Escolar Alfredo Ramírez nos dio una idea que puede explotarse en varias escuelas rurales: la utilización del poste donde se cuelga la bandera como mástil para el *router*, véase Figura 3(a).

Para probar las capacidades de trabajo de la red en un entorno donde las distancias eran mayores y la vegetación afectaba severamente la línea de vista, necesaria para un enlace directo, se decidió instalar otro nodo en el Centro Escolar San Isidro. Este centro se encuentra a 12 km del casco urbano del municipio de Berlín. La distancia que le separa

con el Centro Escolar Alfredo Ramírez es de 8 km —6 km en trayecto directo o línea de vista—. Se constató, lo que ya sabíamos de antemano, que el *router* telefónico no iba a funcionar. Sin embargo, fue muy interesante ver que simplemente agregando un tipo de *router* de mayor potencia (NS2, Figura 1(b), y Bullet, Figura 1(c), fabricados por la empresa Ubiquiti Networks) el enlace se estableció sin problemas.

En la zona rural, la respuesta de los maestros, los niños y la comunidad fue muy buena. La fotografía de la Figura 2(a) muestra una de las primeras llamadas realizadas entre el Centro Escolar Alfredo Ramírez —ubicado a 4 km de Berlín— y la alcaldía municipal. Fue evidente el entusiasmo con que se vio el poder contar con un sistema de telefonía que no signifique un costo extra en el presupuesto personal de los profesores. Al mismo tiempo, constatamos, tal como lo muestra la fotografía de la Figura 2(b), que los escolares de manera desinteresada estuvieron dispuestos a ayudar. En el Centro Escolar Caserío San Isidro con diligencia y prontitud se nos ayudó a improvisar un mástil de bambú, que nos ayudó a completar una de nuestras pruebas.

El trabajo realizado en Berlín fue acompañado de una riguro-

rosa simulación por computadora. Para ello se utilizó el software de libre distribución Radio Mobile [25]; así como los datos técnicos del *router* telefónico MP01, véase Figura 1(a). En la Figura 4(a) se muestran los resultados de la simulación por computadora, obtenidos para el área urbana del municipio de Berlín. Además de las escuelas del centro urbano se incluyeron varios centros escolares de los suburbios, que por su cercanía o por su privilegiada posición geográfica contribuyeron a la robustez de la red.

El análisis de radiopropagación muestra la factibilidad técnica de que se establezcan enlaces, algunos mediante saltos, entre todos los centros escolares del área urbana. Se observa una muy buena redundancia. Es decir, en caso de fallar algún nodo existen muchos caminos alternativos por los que de manera automática se enrutaría el tráfico de datos.

En resumen, de la simulación por computadora se puede concluir que es posible dar cobertura a la totalidad de centros educativos del área urbana, utilizando únicamente el *router* telefónico MP01. Esto permitió constatar nuestra hipótesis principal: que con bajo presupuesto es posible distribuir el servicio de telefonía inalámbrica y el de Internet.

La simulación por computadora se extendió para incluir los centros escolares de la zona rural. Los resultados se muestran en la Figura 4(b). El análisis de radiopropagación, así como una cuidadosa observación de los diagramas de perfil de cada uno de los enlaces, fue muy concluyente, en el sentido de mostrar la robustez de la red.

Durante el año 2011 se realizaron visitas a otros municipios de la sierra Tecapa-Chinameca. Se visitaron los centros escolares de siete municipios, a saber: Alegría (17), Berlín (32), Mercedes Umaña (19), Villa El Triunfo (11), Santiago de María (22), Nuevo Guadalupe (6) y Jucuapa (14 de 23). De las visitas a los centros escolares se obtuvieron datos de localización, mediante GPS. Asimismo, se observó *in situ* la orografía que habrá que superar para poder tener una buena conectividad.

En la Figura 4(b) se muestra el resultado de la simulación realizada con el programa Radio Mobile. Los resultados preliminares mostraron importantes limitaciones en el *software* de simulación; pues, además de tener una resolución limitada —cercana a los 30 m— no considera obstáculos debido a la vegetación o a las irregularidades del terreno dentro

del mismo centro escolar. Sin embargo, su apoyo como herramienta en el estudio de las condiciones de radiopropagación son muy importantes. En la Figura 4(b) puede observarse que es posible agrupar pequeñas redes, correspondientes a cada uno de los municipios. Al mismo tiempo se pueden interconectar estas redes entre sí de tal manera que es posible formar una gran malla, que permitirá la comunicación de la totalidad de los centros escolares.

Merece la pena comentar que, tal como lo constatamos en el lugar, los centros escolares del municipio de Alegría presentan una orografía muy compleja. La simulación y la visita de campo realizada mostraron que no es posible formar una única red para el municipio. Sin embargo, es posible dar cobertura a la mayor parte de sus centros escolares a través de los municipios vecinos.

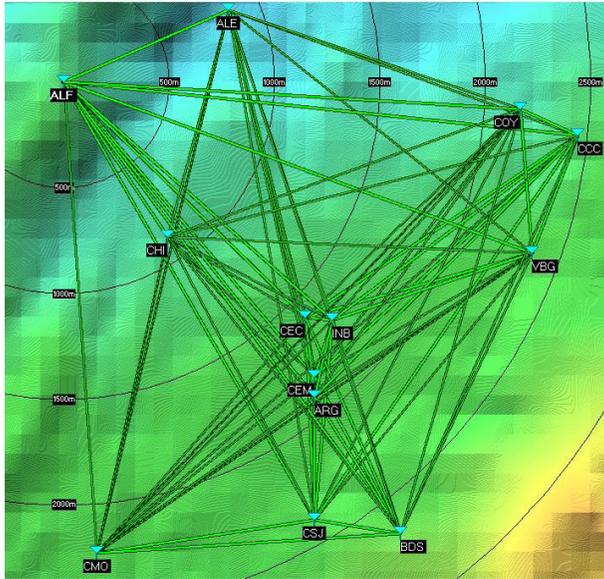
La Tabla 3 muestra que 17 centros escolares carecen de energía eléctrica. Como una forma de integrar este tipo de escuelas a la red se diseñó y se montó un prototipo de *router* energizado con un panel solar fotovoltaico. El costo total del sistema solar autónomo no llegó a superar los US\$ 300.00. Mediante la utilización de ese sistema se completaría en su totalidad la red de servicio de telefonía

y de Internet a todos los centros escolares de la zona de estudio.

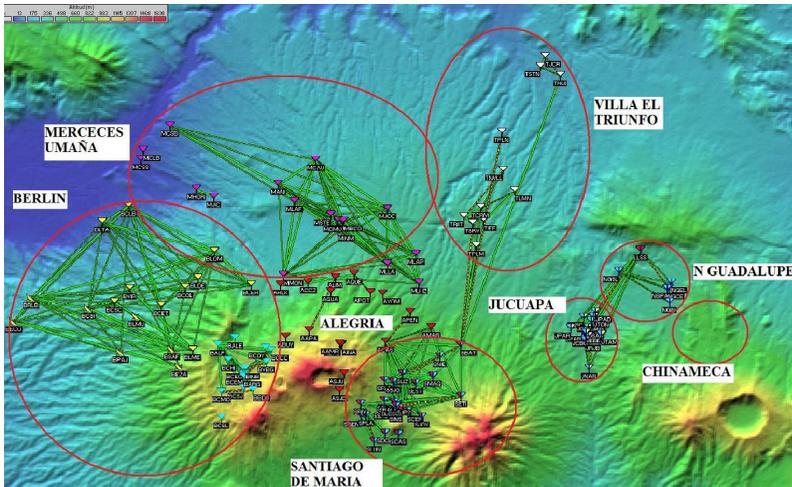
6. El problema del ancho de banda

En redes de cables, la relación entre la velocidad de acceso o ancho de banda por usuario y el ancho de banda total disponible es cuestión de una simple aritmética. El número de usuarios con anchos de banda definidos puede calcularse mediante la división entre el ancho de banda disponible y el ancho de banda requerido por usuario. De esta manera se establece el número de canales; cada uno de estos se conectan a un *switch*. Pero en una red inalámbrica la velocidad se ve afectada por muchas variables: protocolos, clima, vegetación, lluvia, frecuencia de operación, por mencionar algunos ejemplos [11].

Para el estándar IEEE 802.11, así como para cualquier tecnología inalámbrica, el aire es el medio de transporte. Este estándar opera bajo el principio de compartición del medio. Únicamente un usuario puede usar el canal a la vez; agravando la situación el hecho de que el enlace ascendente (*uplink*) y el enlace descendente (*downlink*) operan en la misma frecuencia. A pesar de que se han desarrollado muchos avances en cuanto a efi-



(a)



(b)

Figura 4. Resultado de la simulación por computadora que ilustra la conformación de una red mesh para los centros escolares de: (a) la ciudad de Berlín y (b) la sierra Tecpa-Chinameca.

Estándar IEEE	Velocidad (Mbps)	Velocidad prom.(Mbps)	Número de usuarios	Velocidad prom. por usuario
802.11b	11	7.2	10	720 Kbps
802.11b	11	7.2	20	360 Kbps
802.11b	11	7.2	30	240 Kbps
802.11b/g	54	13	10	1.3 Mbps
802.11b/g	54	13	20	650 Kbps
802.11b/g	54	13	30	430 Kbps
802.11a	54	25	10	2.5 Mbps
802.11a	54	25	20	1.25 Mbps
802.11a	54	25	30	833 Kbps
802.11n	72	35	10	3.5 Mbps
802.11n	72	35	20	1.75 Mbps
802.11n	72	35	30	1.16 Mbps

Tabla 2. Ancho de banda de acuerdo al estándar utilizado y al número de usuarios [11].

ciencia, la tecnología IEEE 802.11 suele ser señalada por tener muchas limitaciones en cuanto a ancho de banda. ¿Cuántos usuarios pueden tener acceso a través de un punto de acceso inalámbrico? La respuesta simple es: cientos. Sin embargo, la pregunta no es cuántos usuarios pueden estar asociados a un punto de acceso sino cuántos pueden tener acceso con un ancho de banda adecuado [11].

En 1998 la velocidad del estándar IEEE 802.11 era de 2 Mbps. Un año más tarde, en el año 1999, la velocidad de la nueva versión fue de 11 Mbps. Diez años más tarde, en 2009, la versión IEEE802.11n ofrecía velocidades de hasta 300 Mbps. Se espera que ese mismo estándar alcance velocidades de hasta 600 Mbps. Estas sostenidas mejoras refutan casi cualquier duda que, en cuanto a limitación de ancho de banda, quiera ser

atribuida a esta tecnología.

Aún más, las nuevas versiones del MP01 incorporarán el procesador (SoC, del inglés *System-on-Chip*) AR9331 que funciona bajo el estándar IEEE 802.11n y alcanza velocidades de hasta 150Mbps [44].

En la Tabla 2 se muestran varios ejemplos donde se calculó la velocidad para diferentes números de usuarios, utilizando diferentes versiones del estándar. La columna etiquetada como velocidad promedio corresponde a velocidades que aproximan el valor real de transmisión de datos (*payload*), sin cabecera [11].

Municipio	Número de Escue.	Número de Docen.	Número de Alumnos	Escuela con Electr.	Escuela con Telefn.	Escuela con PC (canti.)	Escuela con Intern.
Alegria	17	112	3558	15	3	6 (90)	4
Berlín*	32	201	6447	30	7	7 (142)	5
Chinameca	30	288	7132	28	14	10 (163)	6
Estanzuela	18	129	3654	17	5	3 (37)	2
Jucuapa	23	255	5895	20	11	3 (80)	3
Mercedes Umaña	19	134	3987	18	8	6 (73)	2
Nueva Granada	16	87	2093	16	2	3 (27)	0
Nueva Guadalupe	6	97	2052	6	5	3 (50)	2
San Buena Ventura	10	64	1108	10	2	4 (44)	1
Santiago de María	22	242	6436	22	10	7 (160)	5
Villa El Triunfo	11	79	2370	10	3	2 (60)	2
San Agustín	15	56	1694	14	3	2 (36)	2
Tecapan	10	62	2173	7	2	8 (11)	1
Total	230	1806	48599	213	75	57 (989)	35

Tabla 3. Descripción de centros escolares distribuidos por municipio, según censo 2009 [32]. (*En Berlín no se incluyeron los nuevos indicadores bajo el programa Eurosolar).

7. Necesidad de ancho de banda en la escuela rural

En cuanto a la infraestructura de los centros escolares, utilizando los datos del último censo realizado por el Mined se obtuvieron algunos datos importantes [32]. En la Tabla 3 se muestra un resumen clasificado por municipio. El 75 % de los centros escolares carece de computadora; y si se excluyen los que poseen entre 1 y 5, el porcentaje asciende al 80 %. El 85 % carece de acceso a Internet y el 68 % no tiene acceso a teléfono. El 7 % de las escuelas carece de electricidad; y ese dato se incrementa al 12 % si se consideran aquellas cuya instalación eléctrica ha sido declarada como averiada.

En cada municipio de la zona rural, el acceso a Internet está destinado a unas pocas escuelas dentro del casco urbano. Generalmente, es el instituto el que tiene la conexión más rápida de Internet, que en ningún caso supera los 512 kbps. Estos, en general, cuentan con un puñado de computadoras. En 2012, con la excepción de muy pocos, los escasos centros escolares que cuentan con el servicio de Internet tendrán una velocidad de acceso que no superará los 256 kbps.

Los datos de la Tabla 3 ponen en evidencia la carencia de infraestructura de telecomunicaciones para los centros escolares que están fuera del radio del pueblo. Dada esa realidad, es inevitable

preguntarse si estos llegarán en el mediano plazo a contar con computadoras y con servicio telefónico.

Durante la última década, los maestros del sector público han visto incrementadas sus labores administrativas. Los programas como “Escuela Saludable”, “Paquete Escolar” y “Vaso de Leche” demandan de los maestros el estar en comunicación continua con padres de familia, con maestros de otras escuelas, con las respectivas direcciones departamentales y con proveedores de calzado, de uniformes y de alimentación. La carencia de teléfono se traduce en que el maestro debe decidir entre gastar de su presupuesto personal, mediante el uso del teléfono móvil, o tener un mal canal de comunicación con su entorno. Aún más grave, maestros de escuelas rurales deciden, en no muy pocas ocasiones, suspender clases para acudir a realizar labores administrativas, como las antes citadas.

En cuanto a mejorar la infraestructura de telecomunicación y el acceso a la computadora el Estado salvadoreño parece tener buenas intenciones. Sin embargo, los despliegues de computadoras realizados en la escuela rural han sido producto de donaciones y de la cooperación internacional.⁴

4 En 2011 el Mined lanzó una

Para el año 2012, se distribuirán cerca de 3000 portátiles, del tipo diseñado por el proyecto OLPC. Los 26 centros escolares beneficiados están ubicados en dos municipios al norte del departamento de Santa Ana y en cuatro municipios del departamento de Chalatenango [32]. Lamentablemente, como ya se apuntó anteriormente, la falta de coordinación dentro del Mined dejará sin acceso a Internet al 70 % de las escuelas beneficiadas con esa donación. Y, por otra parte, dará servicio de Internet a centros escolares que carecen de computadoras.

La carencia de computadora, la falta de servicio telefónico y la indisponibilidad de conexión a Internet de la escuela rural conducen a la formulación de varias preguntas: ¿Cuáles deberían de ser las prioridades en cuanto a servicios de información y de telecomunicaciones de la escuela rural? ¿No debería estar en primer lugar el dotar de servicio telefónico? Por otra parte, la probabilidad de que, en el mediano plazo, la escuela rural tenga acceso a computadora es muy reducida. Y de adquirirla sería en volumen muy bajo. De los

licitación para adquirir 7,543 computadoras portátiles tipo *netbook*. La mayor parte de estos equipos fueron destinados a los institutos de educación secundaria.

centros escolares que cuentan con computadoras, en torno al 80 % de estos poseen menos de 20 computadoras.

Es en este escenario que la solución basada en el *router* telefónico MP01, con la capacidad de formar una red de comunicación de voz y datos, resulta muy adecuada. Como se ha demostrado [véase Tabla 2], el ancho de banda del estándar IEEE 802.11 es suficiente para volúmenes de hasta 30 conexiones por celda [11]. Para aquellos enlaces que demanden mayores anchos de banda se podrá utilizar versiones más avanzadas del estándar como, por ejemplo, el IEEE 802.11n, diseñado para alcanzar velocidades de varios cientos de Mbps. En otros casos se podrá cambiar el tráfico hacia la puerta de acceso menos congestionada. Pero aún más importante será el hecho de contar con acceso a teléfono desde el primer día en que se monte la red.

8. WiFi como tecnología de bajo costo

Uno de los primeros estudios relacionados con la economía de acceso a Internet para zonas rurales mediante el estándar IEEE802.11 fue publicado en el año 2004 [74].

En ese estudio se establecieron modelos de pequeñas empresas. A partir de un modelo básico de referencia se construyeron otros tres modelos que incorporaban mayor cantidad de equipo, y como consecuencia, encarecían el posible escenario de implantación. Los autores no llegaron a poner en operación la red, su contribución fue muy valiosa en el sentido de analizar la economía detrás de las redes inalámbricas WiFi.

Esta investigación no ha pasado por alto el dar una respuesta a las preguntas que surgen en el mundo de las pequeñas empresas del sector de telecomunicaciones: ¿Cuánto cuesta un sistema de este tipo? ¿Es escalable? ¿Existen restricciones legales? ¿Es necesario ser un operador de telefonía para poder ofrecer este servicio?

El elemento principal de la red propuesta es el *router* MP01, [ver la Figura 1(a)]. Su precio en el mercado internacional es de US\$ 120. El porte de envío y los impuestos de aduana podrían elevar su costo hasta en un 50 %, dejando un precio final de US\$ 180.00. Compras de volúmenes superiores a las cien unidades reducen su precio a US\$ 90.00 [22]. Si nuevamente se incrementa ese precio en 50 % su posible costo en el mercado local sería de US\$ 135. Al igual que se espera que la economía de escala

reduzca el precio de la computadora del proyecto OLPC, se espera que el *router* MP01 alcance precios en torno a los US\$ 60.00 [44].

En el escenario más básico y tal como se muestra en la Figura 5, para formar una red tipo malla con *routers* MP01 bastaría con dotar a cada centro escolar con un *router*. Sin embargo, las distancias, la dispersión y la orografía de la zona rural complican la situación. Por ello, tal como lo han documentado otros investigadores, es necesario planificar para escenarios más complejos [74]. Estos escenarios conducen a la incorporación de antenas de los tipos directiva y omnidireccional. Al mismo tiempo, requiere la introducción de un tipo de *router* de mayor potencia [ver Figura 1(b) y Figura 1(c)]. También, considerando futuras saturaciones del espectro a 2.4 GHz, se debe contar con un tipo de *router* que opere a la frecuencia libre de 5.8 GHz [16].

Es evidente que los peores escenarios encarecen el costo final de la red. Pero quizá el factor que más encarecería esta infraestructura, como la de cualquier red basada en tecnología inalámbrica, es la necesidad de levantar torres [63]. Esto es así pues se deben comprar o alquilar los terrenos donde irán montadas las radiobases. Eso tiene un impacto económico. Y en

no muy pocas ocasiones sufre del rechazo social.

Anteriormente se dijo que en algunos centros escolares no sería necesario instalar postes, si no que se utilizarían los mástiles donde en los meses de patriotismo se iza la bandera. Sin embargo, una evaluación más conservadora indica que sería conveniente que la mayor parte de los nodos propuestos utilicen postes de 9 m. Estos serían instalados dentro del centro escolar. Ahí donde se instale un poste, el precio incrementaría en US\$ 200.00. Al sumar el incremento debido a la inclusión de *router* de mayor potencia y a la instalación de postes se tiene que el costo por sitio de emplazamiento —centro escolar— superaría los US\$ 400.00.

Si se tienen en cuenta los precios actuales de mercado, el precio de US\$ 400.00 por emplazamiento es relativamente barato. Sin embargo, su costo supera en más del 200 % el costo del *router* telefónico. Este incremento lo impone la necesidad de dotar de robustez a la red (mediante la inclusión de postes y de *routers* de mayor potencia emplazados en lugares estratégicos). Sin embargo, muchos nuevos centros escolares que se añadan a la red requerirán únicamente de la instalación del *router* telefónico. Con

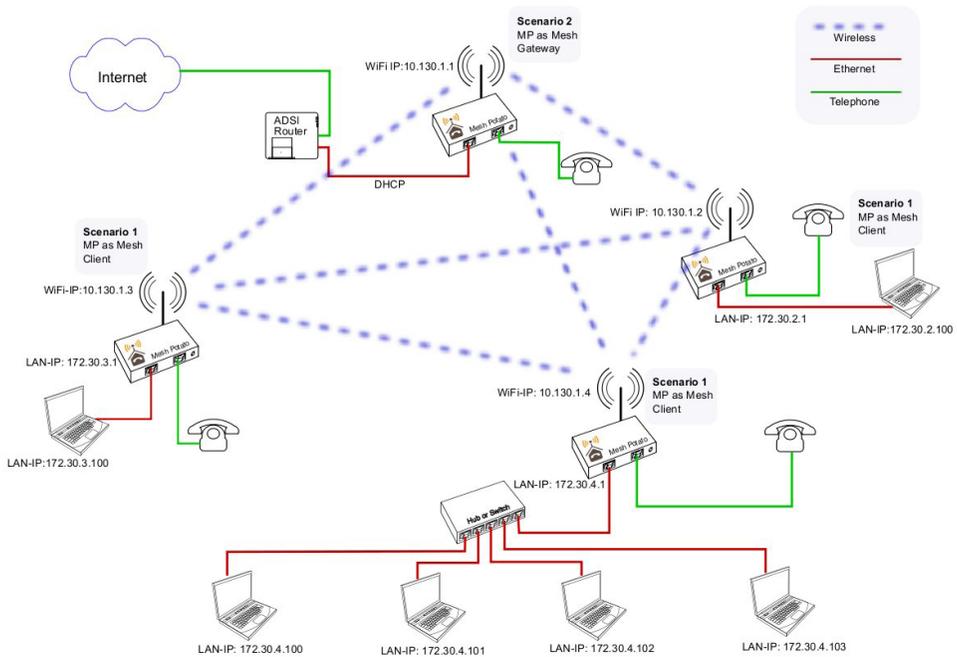


Figura 5. Diagrama esquemático de una red telefónica inalámbrica tipo mesh que incluye servicio de Internet (El esquema fue diseñado por Elektra del grupo Village Telco [44]).

ello, el precio de cada nuevo sitio de emplazamiento se reduce casi exclusivamente al precio del *router* MP01.

Como se ha dicho, son limitados los centros escolares que tienen contratado el servicio de Internet. Los pocos que lo tienen se encuentran dentro del casco urbano de los municipios. La tecnología propuesta supera a cualquier otra idea hasta ahora implantada. Al formar todos los centros escolares una sola malla no es necesario que cada uno de

ellos tenga contratado el servicio de Internet. Será posible compartir el acceso. Es decir, para explicarlo de una manera simple, se puede interpretar esta propuesta de la siguiente manera: así como un pequeño cibercafé ofrece servicio a los clientes que acuden al lugar, distribuyendo el ancho de banda contratado con algún proveedor; la red propuesta extendería el servicio desde el casco urbano hasta las zonas rurales de los municipios. La Figura 5 muestra el esquema de la red. En ella se observa que el servicio de Internet

ADSL del nodo identificado como escenario 2 sirve de puerta de acceso a toda la red.

Si se quiere, esta misma idea podría ser extendida al sistema telefónico. Por ejemplo, en el municipio de Berlín, donde existen 30 escuelas y únicamente siete de ellas cuentan con teléfono, se podría contratar un “sistema telefónico tipo E1”. Es decir, se contaría con un sistema de telefonía VoIP, de 2 Mbps de velocidad, con capacidad para 30 canales (usuarios simultáneos) de 64 kbps. Estos canales corresponden a números telefónicos fijos, registrados en el plan de registro nacional. El número de extensiones podría crecer a discreción del contratante, siempre y cuando esté dentro del marco contratado con el proveedor del sistema E1. Hasta el año 2010, el precio mensual de un contrato E1 más una bolsa de 5,000 a 10,000 minutos costaba un poco menos de US\$ 200.00 por mes. Es decir, cada escuela del municipio de Berlín podría tener acceso telefónico directo con un costo inferior a los US\$ 7.00, con un volumen de 167–333 minutos. Este precio es muy inferior al que los centros escolares están pagando ahora mismo por el servicio. Pero aún más importante sería el hecho de que los centros escolares, al formar parte todos

de una misma red, no generarían gasto al establecer llamadas entre ellos. Esto vendría a reducir aún más los gastos por llamadas telefónicas.

Es posible interconectar la red inalámbrica con la red de telefonía móvil. De manera similar al caso de integración con la red de telefonía básica, la interconexión se llevaría a cabo mediante la contratación de un proveedor VoIP. La interconexión puede hacerse de manera directa, mediante la utilización de Gateways GSM como el 2N R VoiceBlue Lite, vendido por la empresa 2N Telecommunications, o el IP2G4, vendido por Atcom [19,22]. Cualquiera de estos dispositivos puede conectarse en cualquier nodo de la red [ver Figura 5]. Con ello se integra plenamente a ambas redes.

Esta tecnología puede escalar sin problemas [44]. Sin embargo, su naturaleza es muy similar a la de la red Internet. Es decir, existen unas directrices generales y unos estándares para su implementación. Sin embargo, su crecimiento está determinado por los usuarios. En ese sentido, será muy sencillo incrementar el número de nodos, correspondientes a nuevos centros escolares. Bastará con adquirir, configurar e instalar un *router* MP01. En otros casos, como ya antes se dijo, será

necesario dotar al *router* de una antena, de otro *router* de más potencia y, quizá también, de un poste.

En cuanto a las restricciones legales no existen más que las que exige la Siget en el cuadro nacional de atribución de frecuencias (CNAF). El CNAF funciona de acuerdo con las directrices generales emitidas desde la UIT. Esta declaró como frecuencia libre (no requiere la concesión de licencia) el segmento de frecuencias 2.4-2.48 GHz. En ese segmento se han desarrollado aplicaciones para la industria, la ciencia y la medicina. En ese mismo segmento opera el estándar IEEE802.11. Este no tiene más limitaciones que las concernientes a la potencia de salida del transmisor —que no debe superar un vatio— y la ganancia de antena máxima de 6dBi. Según el CNAF es posible tener diferentes combinaciones en cuanto a potencia y a ganancia de antena. La combinación de ambas no debe exceder el valor de 6 dB vatios, aproximadamente 3.98 vatios [41]. Estos valores se encuentran muy por encima de las potencias máximas utilizadas por el *router* MP01 (15 dBm) y por los *routers* NS2 (26 dBm) y Bullet (22 dBm).

No es necesario tener el estatus de operador de telecomunicaciones para instalar este

tipo de redes. La normativa de la Siget exige a cualquier empresa que quiera ofrecer servicios de telefonía la condición de tener la capacidad de poder terminar llamadas de los demás operadores. Este requisito, a todas luces razonable, ha servido de barrera a casi toda empresa pequeña que alguna vez se planteó ofrecer servicios de telefonía. Ese requisito les obliga a entrar en negociación directa con los grandes operadores, terminando el intento en un bloqueo “técnico”. Sin embargo, en la aplicación propuesta no se busca ser un operador. Únicamente se extiende el servicio de telefonía y de Internet más allá del casco urbano del municipio donde vaya a instalarse este tipo de redes.

9. Formación de técnicos en TIC

La formación de técnicos que una nación requiere para su desarrollo no es una tarea sencilla. No lo es siquiera para las naciones desarrolladas. Por citar un ejemplo, en Estados Unidos las proyecciones en cuanto a las futuras necesidades de ingenieros advierten de un enorme y grave déficit. A pesar de contar con uno de los mejores sistemas universitarios del mundo, los jóvenes americanos no

sienten especial entusiasmo por el estudio de las ciencias y por la ingeniería [42].

Todo lo contrario, China que durante más de dos décadas ha tenido un crecimiento económico continuo y sostenido, tiene una de las producciones de ingenieros más grandes del mundo. Pero no solo eso, la sociedad china es una de las que envía más jóvenes a estudiar a universidades americanas.⁵

La instrucción del técnico salvadoreño ha estado en manos de las instituciones de educación superior. La carrera de ingeniería civil inició en el año 1927; y sus primeros graduados obtuvieron su diploma en 1933. Hubo que esperar más de treinta años para

5 Durante toda la primera década del presente siglo, India ha sido el país que más estudiantes ha enviado a las universidades americanas. En 2009 envió 103,260 estudiantes, que representó un incremento del 9 % sobre el año anterior. Sin embargo, China rápidamente está alcanzado el volumen de estudiantes enviados por India. En el mismo año China envió 98,510 estudiantes, un 21 % de incremento respecto al año anterior. Corea del Sur con una población inferior al 5 % de la población de China o de India envió a Estados Unidos 75,065 estudiantes en el año 2009 [51].

que se graduaran profesionales de otras ramas de la ingeniería. En 1972 abrió sus puertas el Instituto Tecnológico Centroamericano (Itca). Este tuvo como objetivo el preparar técnicos cuya formación no superara los dos años de instrucción, equivalente a la titulación *associate degree* conferido por los *colleges* americanos. Durante la década de 1980 surgieron muchísimas universidades privadas. Actualmente existen 25, y casi todas cuentan con alguna carrera de ingeniería. Más de una docena de estas cuentan con carreras relacionadas con la ingeniería eléctrica, electrónica, telecomunicaciones y computación.

Tradicionalmente, las carreras asociadas a la ingeniería eléctrica son las que han asumido la responsabilidad de formación de los profesionales de las tecnologías de la información y la comunicación. La experiencia de la UES se remonta a finales de la década de 1980.

Hacia 1989, la Escuela de Ingeniería Eléctrica recibió una millonaria donación [14]. Dentro del equipo recibido se encontraba un lote de 20 computadoras y unas tarjetas que permitían la comunicación entre estas. La utilización esporádica de aquellos dispositivos para interconectar computadoras no pasó de ser un

extravagante y disipado experimento académico.

Muy ajeno y bastante lejano de aquella curiosidad académica, hacia el año 1993, como un proyecto de la UES, se empezó a desarrollar una incipiente infraestructura de red de computadoras. Un año más tarde se creó la unidad encargada de diseñar la red de telefonía y la red de datos dentro del campus universitario de San Salvador [70].

Durante esos años no existían técnicos con los conocimientos de cómo interconectar computadoras y formar con ellas una red. Todo se aprendía sobre la marcha. Todo parecía tan difícil de alcanzar.

Con la dirección de dos técnicos extranjeros, Rodney Taylor y Carlos García Bayón, de personalidades dispares y de nacionalidades estadounidense y española, respectivamente, se empezó a construir la incipiente red que daría conectividad a toda la Universidad. Ambos se hicieron rodear de la colaboración de jóvenes estudiantes de ingeniería eléctrica y le imprimieron dinamismo al trabajo de extender la red por todo el campus. En un principio los resultados se obtuvieron más por la tenacidad que por la adecuada instrucción. Las asignaturas que prometían la formación en el diseño, el montaje

y la operación de redes de computadoras no aparecieron sino hasta la segunda mitad de la década de 1990; estas estuvieron destinadas a estudiantes de último año de ingeniería eléctrica.

Fuera de la UES, muchas cosas empezaron a cambiar a finales de la década de 1990. La fundación y el desarrollo de la Universidad Don Bosco (UDB) y la privatización del Itca le imprimieron otra dinámica a la formación de técnicos cualificados en tecnologías de la información y la comunicación. Por una parte, la UDB adquirió la “franquicia” de una academia donde se instruye a usar el equipo necesario para diseñar, montar y operar redes de computadoras. Por otra parte, el Itca adquirió la flexibilidad administrativa necesaria para diversificar su oferta de estudios. También, este adquirió, años más tarde, su “franquicia” o academia local de la misma empresa.

La academia Cisco ha tenido éxito en todo el mundo. El contenido que ahí se imparte, bajo la certificación más básica, fue pensado para dar una titulación equivalente a un *associate degree*. Es decir, dos años adicionales de instrucción, después de haber completado la educación obligatoria, permiten incorporar a jóvenes al mercado laboral.

Dispositivo	Descripción	Cantidad	Costo US\$ mín.-máx.
Router telefónico	MP01: 1 puerto ethernet, 1 puerto fxs, potencia 15 dBm, antena 8dBi, hardware y software libre.	1	120.00–180.00
Router inalámbrico	DIR300: 1 puerto wan, 4 puertos LAN, potencia 15 dBm, antena 2 dBi, hardware y software libre.	4	100.00–200.00
Router inalámbrico	NS2: 1 puerto wan/LAN, PoE, Outdoor, potencia 26 dBm, antena 10 dBi, hardware y software libre.	1	80.00–120.00
Switch	Linksys: 4-8 puertos ethernet	1	20.00–50.00
Teléfono	Teléfono analógico	1	10.00–20.00
Extensión eléctrica	Espacio mínimo para 5 tomas	1	2.00–6.00
Cinchos plásticos	10 centímetros de largo c/u	12	1.00–2.00
Total			333.00–578.00

Tabla 4. Detalle de equipo básico de laboratorio de bajo costo para ICT4D.

Después de diez años, el impacto que esta academia ha tenido en las instituciones de educación superior que imparten carreras afines a la ingeniería eléctrica es muy notorio. Hacia el año 2010, existían ya casi una docena de estas. En más de media docena de universidades se imparte una o dos asignaturas donde el material adoptado ha sido el producido por la academia ya citada. También, ha existido el caso donde el mismo material se ha impartido en un programa de posgrado.

Cualquiera que esté interesado en elevar el nivel técnico de una nación en materia de TIC no debería de pasar por alto los resultados de la academia Cisco [61]. La masificación de sus laboratorios y de su método debería descender a los bachilleratos técnicos y a los institutos tecnológicos. Sin

embargo, no se debe ignorar que la adquisición de academias locales resulta ser muy difícil, pues se exige unos requisitos mínimos en cuanto a infraestructura y personal de entrenamiento. Hasta la fecha muy pocas instituciones han querido apearse a esos estándares. Al mismo tiempo, el precio que los estudiantes tienen que pagar es muy alto. Actualmente la cuota mensual que se cobra es muy cercana al salario mínimo urbano (US\$ 150.00).

10. Formación de técnicos en ICT4D

En el año 2004, investigadores del área de redes de computadoras de la Universidad de Ingeniería y Tecnología de Lahore, Paquistán,

publicaron detalles de su laboratorio de redes de computadoras. La idea de estos investigadores era que su proyecto pudiese ser imitado por otros países en desarrollo que tuviesen presupuestos de operación muy limitados. El costo del laboratorio fue de US\$ 170,000.00, de los cuales el 80 % correspondió a equipo de comunicaciones de datos; el 20 % restante fue destinado a la adquisición de infraestructura necesaria para alojar el laboratorio (muebles, aire acondicionado, etc) [8]. El precio de ese laboratorio aún sigue siendo muy alto para cualquier institución de educación superior salvadoreña. Con ello se ve muy limitada cualquier aspiración de incrementar el número y de subir el nivel de formación de los futuros técnicos especialistas en TIC.

Hacia el año 2007, la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la UES empezó a introducir conceptos de ICT4D a través de la creación de nuevas asignaturas, del desarrollo de trabajos de investigación asignados en la asignatura Proyecto de Ingeniería, de investigaciones realizadas en trabajos de graduación, de trabajo de campo llevado a cabo como servicio social, de el asocio con proyectos internacionales en *software* y *hardware* libre y mediante la solicitud de fondos de investigación en el

Centro de Investigaciones Científicas. La idea central de todo este esfuerzo ha girado en torno a dar respuesta a la siguiente pregunta: ¿Cómo se puede introducir la formación en ICT4D con un presupuesto reducido, con calidad y profundidad de alto nivel? La respuesta a esa pregunta ha podido llegar a través de un proceso lento y duro de aprendizaje.

A través de la cooperación con dos empresas, AES El Salvador y Enlace Visión S. A., de la colaboración del grupo de estudiantes IEEE-UES y de la donación realizada por un profesor y por varios alumnos se ha podido montar un laboratorio ICT4D de muy bajo costo.⁶ La idea central del laboratorio es instruir en el diseño, la configuración y el montaje de sistemas de comunicaciones de bajo costo que permitan ofrecer servicios básicos de voz y de Internet, bajo los principios de *software*, *hardware* y espectro radioeléctrico libre.

El laboratorio está formado por un sistema básico que com-

6 El Centro de Investigaciones Científicas de la UES ha concedido financiamiento para un proyecto que fortalecería ese laboratorio. Sin embargo, aunque fue aprobado hace más de un año, los equipos no han podido ser comprados [55].



(a)



(b)

Figura 6. Laboratorio de bajo costo para redes inalámbricas y telefonía VoIP: (a) Sistema básico; y (b) Estudiantes realizando prácticas con el sistema básico.

bina tres diferentes tipos de *router*, la Tabla 4 muestra los detalles de cada uno de los componentes. El costo de este puede oscilar entre US\$ 333.00 y US\$ 578.00. Actualmente, nuestro laboratorio cuenta con tres sistemas básicos. La Figura 6(a) muestra cómo se ha distribuido el equipo en un *rack*. En la Figura 6(b) se puede observar a estudiantes realizando una de las prácticas de laboratorio con estos sistemas.

La asignatura Redes Inalámbricas y VoIP instruye a estudiantes en temas de ICT4D. Este es impartido a estudiantes de los

últimos años de ingeniería eléctrica. Regularmente, la asignatura cuenta con un número de 9 a 12 estudiantes. Eso hace que existan de 3 a 4 estudiantes por sistema básico. El caso ideal sería contar con un sistema por cada alumno.

Como ya se apuntó, el sistema básico está formado por tres diferentes tipos de *router*. El *router* más barato es el DIR300. Cuatro de estos se utilizaron para formar una malla. A cada uno de ellos se le cambió el *firmware* del fabricante y se le instaló en su lugar el *firmware*, basado en linux, OpenWRT. Posteriormente, se

le instaló a cada uno el protocolo de enrutamiento BATMAND. Finalmente, cada *router* se configuró como un nodo miembro de la red. Un quinto *router* DIR300 se dejó con su *firmware* original y se le asignó una dirección IP estática, asociado a una de las interfaces *ethernet* de cualquiera de los cuatro nodos.

El *router* telefónico MP01 se configuró como un nodo miembro de la malla. Al mismo tiempo, este *router* puede integrarse a una red telefonía IP; lo que permite realizar muchas prácticas en cuanto a integración de redes inalámbricas y redes telefónicas.

El *router* Bullet se utiliza como supernodo [44]. Este *router* se configura como puerta de acceso a Internet. También, este forma parte de una red local construida en torno a un concentrador [en la Figura 6(b) es el *router* Linksys de doble antena], a la que también se puede conectar el servidor que permitirá la monitorización de la red.

El sistema básico permite realizar más de una docena de prácticas básicas sobre muchos contenidos, que van desde el estudio de protocolos de enrutamiento al estudio de sistemas operativos de tiempo real. Sin embargo, hasta la fecha, se ha limitado el número de prácticas a un número que pue-

de variar entre 8 y 12 sesiones de dos horas cada una. La secuencia de prácticas que se desarrollan se describen a continuación:

- cambio de *firmware* a diferentes tipos de *router*;
- configuración de un *router* como nodo de una malla;
- configuración de un *router* como supernodo;
- protocolos de enrutamiento: pruebas de conectividad en redes inalámbricas;
- configuración básica del *router* MP01;
- integración de un *router* MP01 como miembro de una red telefónica VoIP;
- integración de un red inalámbrica a la red pública telefónica;
- aplicación en la monitorización remota de energía;
- configuración del servidor de monitorización;
- configuración del servidor de facturación.

Todas las prácticas listadas son básicas. La obtención de la destreza en su contenido se consigue mediante la asignación de proyectos. Vale la pena decir que el potencial de este laboratorio puede

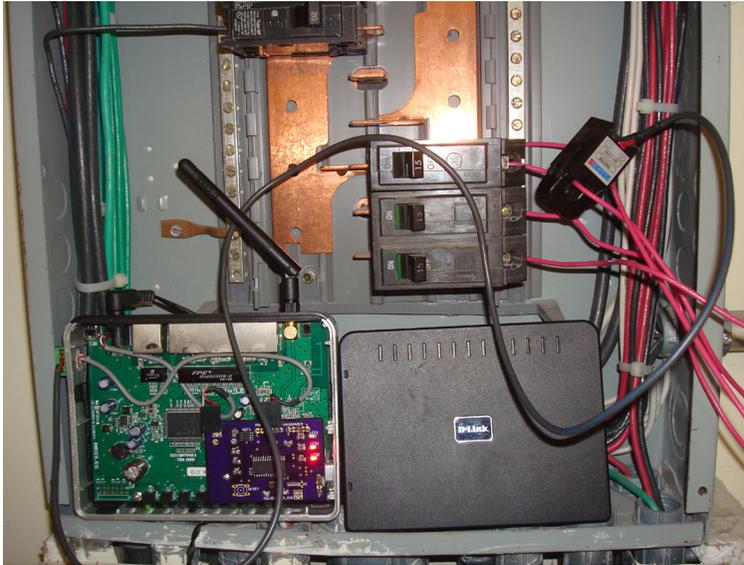


Figura 7. Prototipo de medidor de energía construido en la Universidad de El Salvador y financiado por la empresa de distribución de energía AES.

explotarse mucho más allá de las prácticas listadas anteriormente. Campos de la ingeniería como las redes de sensores, los sistemas empotrados, la algorítmica de codificación de voz y una cantidad extensa de contenidos pueden ser ilustrados con el sistema básico de la Figura 6(a).

II. Construcción de dispositivos electrónicos

Hacia el año 2005 fue creada, en la ciudad de New York, la empresa FON. Su objetivo más ambicioso fue crear una comunidad WiFi global que permitiese a sus miem-

bros conexión gratuita a Internet [28]. La sostenibilidad de la empresa vendría de ofrecer el servicio de Internet a terceros, quienes no cuentan con el *router*. Los *routers* WiFi llegaron a conocerse dentro de la comunidad de habla hispana con el nombre de “La Fonera”. FON es un *router* que opera bajo el estándar 802.11b/g con un *firmware* de código abierto llamado OpenWRT [18].

En 2008, utilizando las facilidades que ofrece las placas Arduino [21] y el potencial abierto por el *router* FON, Bart Van Der Meer sche creó un medidor de consumo de energía eléctrica al que bautizaron con el nombre

Flukso [27]. Dos años más tarde, en 2010, en Escuela de Ingeniería Eléctrica se imitó la idea de Flukso. Para ello se utilizó el *router* DIR300, que se encontraba en el mercado local [71, 72]. La idea fue del conocimiento de la empresa de distribución de energía AES El Salvador quien decidió financiar la manufacturación de un prototipo [73]. La Figura 7 muestra uno de los prototipos.

La construcción del medidor requirió organizar el trabajo en tres partes. La primera parte fue la relacionada con la construcción del circuito medidor de potencia. Para obtener la corriente de la carga, esta se muestrea con el microcontrolador PIC16F876A [31]. Se decidió incorporar un circuito reloj de tiempo real. Esto representó una mejora sobre el medidor Flukso pues elimina la dependencia de un servidor NTP (del inglés, *network time protocol*). La segunda parte correspondió al trabajo de dotar de comunicación inalámbrica al medidor, es decir, la integración del sensor y el *router* inalámbrico. El *router* se utiliza como sistema empujado. Esta idea fue clave para reducir el costo del medidor. El medidor utilizado fue el *router* DIR-300. Se decidió usar ese modelo pues fue fácil encontrarle en el mercado local. Además, se consiguieron va-

rios ejemplares por US\$ 25.00. Las características *hardware* de ambos *router* son muy similares. Ambos utilizan el procesador Atheros 2317 [39] y ambos tienen capacidades en RAM y memoria FLASH idénticas [18]. La tercera parte consistió en el diseño del servidor web, que permite almacenar los datos. Se utilizaron las herramientas que utiliza Flukso, entre las cuales se pueden mencionar: el servidor apache [20], el lenguaje de programación PHP [37], el programa PERL [36], los gestores de base de datos RRDTOOL [33] y MySQL [34], las llamadas a procedimientos remotos basadas en XML-RPC [45] y la programación de scripts en Linux.

12. Programación de dispositivos móviles

Otra área de desarrollo que ha empezado a surgir dentro del entorno de este proyecto es la programación de dispositivos móviles. La Universidad de Flinders, Australia, desarrolló una aplicación para teléfono móvil capaz de integrar un terminal móvil a una red tipo malla, como la del proyecto Village Telco [40]. Esta aplicación requiere que el dispositivo cuente con el sistema operativo AN-



Figura 8. Teléfonos móviles con sistema operativo ANDROID. (a) Modelo HTC Dream, (b) Modelo Huawei Ideos U8150 y (c) Aplicación Bathpone.

DROID y además esté dotado con capacidad para interconectarse a redes WiFi. El inconveniente que se había tenido hasta hace muy poco era que no se habían encontrado terminales baratos para implantar dicha aplicación.

En la Figura 8(a) se muestra el terminal donde fue desarrollada la aplicación. Esta fue bautizada con el nombre Batphone y

su presentación se muestra en la Figura 8(c). El primer terminal donde se probó el Batphone fue en un modelo antiguo del fabricante taiwanés HTC. Quizá el mayor inconveniente que se hizo patente al principio fue el elevado costo del terminal, que era superior a los US\$ 250.00. Sin embargo, más recientemente se ha probado en terminales más baratos, como por

ejemplo el modelo Ideos U8150, del fabricante chino Huawei, cuyo precio es inferior a los US\$ 100.00.

El incorporar dispositivos móviles como miembros de la red propuesta vendrá a dar más relevancia a este proyecto. Al mismo tiempo potenciará el desarrollo de más aplicaciones que vendrá a subir el nivel técnico de los responsables de la gestión de la red [52].

13. Conclusiones

La situación actual de la escuela rural salvadoreña puede verse mejorada en materia de TIC si se adoptan soluciones de bajo costo basadas en *software*, *hardware* y espectro radioeléctrico libre. La Universidad de El Salvador ha propuesto al Ministerio de Educación la construcción de una red de comunicaciones de voz y datos en 13 de los municipios que forma la sierra Tecapa-Chinameca; al mismo tiempo se ha ofrecido la capacitación del personal de la gerencia de tecnologías educativas, de profesores de institutos tecnológicos y de profesores de bachilleratos industriales. Con ello se busca no solo empezar a construir una infraestructura de acceso a TIC para la zona rural sino que, al mismo tiempo, se for-

maría a los técnicos encargados de mantener, operar y desarrollar redes de comunicación.

Pero las soluciones tecnológicas propuestas son muy ambiciosas, pues incluyen además la manufacturación de dispositivos electrónicos, la programación de dispositivos móviles y el desarrollo de *software* para gestión de la red. Todos estos ingredientes podrían estimular el surgimiento de pequeñas empresas en el sector de las telecomunicaciones.

Referencias

- [1] *The Missing Link. Technical report*, International Telecommunication Union, Geneva, Swizertland, 1985.
- [2] Sección Órgano Legislativo. *Diario Oficial*, (142), viernes 29 de julio 1998.
- [3] Sección Órgano Legislativo. *Diario Oficial*, (97), viernes 24 de mayo 1999.
- [4] Acuerdo Ejecutivo 1219/2009. Sección Órgano Ejecutivo: Ministerio de Relaciones Exteriores. *Diario Oficial*, (15), enero 2010. 44

- [5] Focus Group 7. *New Technologies for Rural Applications. Technical report*, International Telecommunication Union, 2000.
- [6] Sin autor. “Negroponte insiste en proponer una tableta de 52 euros”. *El País*, 13 de abril de 2011.
- [7] Sin autor. “United Nation Report: Internet access is a Human Right”. *Los Angeles Times*, 6 de junio de 2011.
- [8] Shahid Bokhari, Masood Ahmed, and Saqib Sohail. A Networking Laboratory for the Developing World. *IEEE Communications Magazine*, 42(2):106–112, febrero 2004.
- [9] Eric Brewer and et. al. The Case for Technology for Developing Regions. *IEEE Computer*, 38(6):25–38, mayo 2005.
- [10] “Vinton G. Cerf. Internet is not a Human Right”. *The New York Times*, 5 de enero de 2012.
- [11] CISCO. *Wireless LAN Design Guide for High Density Client Environments in Higher Education*. 2011.
- [12] Luis Alonso Colacho Susaña y Román Abad Tobías Vides. “Telefonía inalámbrica y red de acceso a Internet para los Municipios de Salcoatitán, Juayúa, Apaneca y Ataco”. Trabajo de Graduación, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de El Salvador, 2011.
- [13] Bernardino Gutiérrez Valdez, José Alfonso Ortíz Quintanilla, y Oscar Ricardo Palma. “Diseño de una Red WiFi para los SIBASI’s de Nueva Concepción, Sensuntepeque y Morazán”. Trabajo de Graduación, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de El Salvador, 2006.
- [14] J. R. Hofmann and A. Stoutland. “Engineers Under Fire: Socially Responsible Engineering at the University of El Salvador”. *Delicate Balance: Technics, Culture and Consequences*, pp. 123–129, 1989.
- [15] <http://datawind.com> (último acceso octubre 2011).
- [16] <http://dili.villagetelco.com> (último acceso octubre 2011).

- [17] <http://open.laptop.org> (último acceso octubre 2011).
- [18] <https://openwrt.org/> (último acceso abril 2011).
- [19] <http://www.2n.cz> (último acceso enero 2012).
- [20] <http://www.apache.org> (último acceso abril 2011).
- [21] <http://www.arduino.cc> (último acceso noviembre 2011).
- [22] <http://www.atcom.cn> (último acceso octubre 2011).
- [23] <http://www.claro.org> (último acceso diciembre 2011).
- [24] <http://www.comprasal.gob.sv> (último acceso octubre 2011).
- [25] <http://www.cplus.org> (último acceso octubre 2011).
- [26] <http://www.ahas.org> (último acceso abril 2011).
- [27] <http://www.flukso.com> (último acceso abril 2011).
- [28] <http://www.fon.com> (último acceso abril 2011).
- [29] <http://www.iter.es> (último acceso abril 2011).
- [30] <http://www.mca.gob.sv> (último acceso octubre 2011).
- [31] <http://www.microchip.com> (último acceso abril 2011).
- [32] <http://www.mined.gob.sv> (último acceso octubre 2011).
- [33] <http://www.mrtg.org> (último acceso abril 2011).
- [34] <http://www.mysql.com> (último acceso abril 2011).
- [35] <http://www.opencompute.org> (último acceso abril 2011).
- [36] <http://www.perl.org> (último acceso abril 2011).
- [37] <http://www.php.net> (último acceso abril 2011).
- [38] <http://www.programaeuro-solar.eu> (último acceso octubre 2011).

- [39] <http://www.qca.qualcomm.com> (último acceso abril 2011).
- [40] <http://www.servalproject.org> (último acceso noviembre 2011).
- [41] <http://www.siget.gob.sv> (último acceso octubre 2011).
- [42] <http://www.smu.edu> (último acceso noviembre 2011).
- [43] <http://www.un.org/> (último acceso abril 2011).
- [44] <http://www.villagetelco.com> (último acceso octubre 2011).
- [45] <http://www.xmlrpc.com> (último acceso abril 2011).
- [46] Rafael Ibarra. “Evolución de la informática en El Salvador y su tendencia futura: Internet”. Exposición Oral realizada para El Banco Central de Reserva de El Salvador, 2004.
- [47] International Telecommunication Union. *World Telecommunication Development Conference*, Valetta, Malta, March 1998.
- [48] Yacine Khelladi. “What Works: The Infocentros Telecentros Telecenter Model”. *The World Resources Institute*, 2001.
- [49] Shamim Kshavarz Rahmani y Manuel Antonio Maceda Martínez. Trabajo de graduación, “El uso de CDMA 450 como una solución para ofrecer servicios de voz y datos en las áreas rurales”. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, 2007.
- [50] Frank la Rue. “On the promotion and protection of the right to freedom of opinion and expression”. Technical report, Human Rights Council, United Nations, New York, USA, 2011.
- [51] Tamar Lewin. China Is Sending More Students to U.S. *The New York Times*, 16 de noviembre de 2009.
- [52] Mario Ernesto López Lara. Trabajo de Graduación, “Aplicación de comunicación móvil mediante teléfonos celulares a través de WiFi”.

- Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de El Salvador, 2011.
- [53] Carlos Eugenio Martínez Cruz. “Estudio de factibilidad en la implantación de sistemas de comunicaciones y acceso a redes de bajo coste con tecnología WiFi en tres SIBASI de la República de El Salvador”. Trabajo de investigación, Universidad Carlos III de Madrid, España, 2005.
- [54] Carlos Eugenio Martínez Cruz. “Desarrollo de una plataforma de comunicaciones de bajo costo para el sector salud salvadoreño” (Presentación Oral). Séptima Convención de Telecomunicaciones y Computación, San Salvador, El Salvador, 2009.
- [55] Carlos Eugenio Martínez Cruz. “Telefonía inalámbrica de bajo costo para la Universidad de El Salvador”. Informe técnico CIC-UES-09.4, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de El Salvador, 2010.
- [56] William Ernesto Mejía, Carlos Roberto Martínez Martínez y Douglas Cerna. “Evaluación de las prácticas educativas en CC NN a nivel de educación media utilizando la computadora”. Informe técnico CIC-UES-01.11, Departamento de Física, Facultad Multidisciplinaria de Occidente, Universidad de El Salvador, 2005.
- [57] William Ernesto Mejía, Carlos Roberto Martínez Martínez, Samuel Adolfo Dueñas, y Ramiro Alexander Fuentes Figueroa. “Modelo piloto de introducción de las investigación científica en educación media con el apoyo de nuevas tecnologías”. Informe técnico CIC-UES-03.12, Departametno de Física, Facultad Multidisciplinaria de Occidente, Universidad de El Salvador, 2007.
- [58] Werner David Meléndez Valle y Carlos Eugenio Martínez Cruz. “Desarrollo de una plataforma de comunicaciones de bajo costo para el sector salud”. Informe técnico CIC-UES-02.12a, Escuela de Ingeniería Eléctria, Universidad de El Salvador, 2003.
- [59] Werner David Meléndez Valle and Carlos Eugenio Martínez

- Cruz. “Desarrollo de una plataforma de comunicaciones de bajo costo para el sector salud (Primer Informe)”. Informe técnico CIC-UES-02.12b, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de El Salvador, 2004.
- [60] Werner David Meléndez Valle and Carlos Eugenio Martínez Cruz. Desarrollo de una plataforma de comunicaciones de bajo costo para el sector salud (Segundo Informe). Technical Report CIC-UES-02.12c, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de El Salvador, 2004.
- [61] R. J. Murnane and N. S. Sharkey. “A Role for the Internet in American Education? Lessons from Cisco Networking Academies”. *The knowledge economy and postsecondary education: report of a workshop*, 2001.
- [62] Rabin Patra, Joyojeet Pal, and Nedvschi Sergiu. “ICTD State of the Union: Where have we reached and we are headed”. International Conference on Information and Communication Technologies and Development (ICTD), 2009.
- [63] Bhaskaran Raman and Kameswari Chebrolu. “Experiences in Using WiFi for Rural Internet in India”. *IEEE Communications Magazine*, 45(1):104–110, enero 2007.
- [64] Eitel Rizzoni. “An overview of Latin American Telcommunication Past, Present, and Future”. *IEEE Transaction on communications*, 24(3):290–305, marzo 1976.
- [65] Edmon Osmani Romero Moreno. “Diseño de una red inalámbrica WiFi para los centros escolares del municipio de Berlín”. Proyecto de Ingeniería Eléctrica, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de El Salvador, 2010.
- [66] Edmon Osmani Romero Moreno y Erick Ronald “Campos Hernández. Propuesta de un sistema de comunicaciones de voz y de datos para las escuelas del municipio de Berlín”, Usulután, 2011.
- [67] David Rowel y Alberto Escudero Pascual. “The IP04

Open telephony hardware for developing regions”. 2007.

[68] R. Schkolnick. Costa Rica: “A Case Study of the telephone cost structure on a Service-Related Basis”. *IEEE Transaction on communications*, 24(3):311–321, marzo 1976.

[69] P. Shapiro. “Telecommunication and Industrial Development”. *IEEE Transaction on communications*, 24(3):305–311, marzo 1976.

[70] Carmen Torres y Roberto Arévalo. “Propuesta de diseño de una red de banda ancha con fibra óptica para comunicaciones en la Universidad de El Salvador”. Trabajo de Graduación, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de El Salvador, 1995.

[71] Jonathan Alberto Zaldaña. “Proyecto de Ingeniería Eléctrica: Construcción del sistema WiFi y diseño del circuito medidor de potencia eléctrica”. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de El Salvador, 2010.

[72] Jonathan Alberto Zaldaña.

“Proyecto de Ingeniería Eléctrica II: Diseño y construcción del circuito medidor de potencia eléctrica e interfaz de comunicación para el envío de las mediciones al sistema WIFI”. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de El Salvador, 2010.

[73] Jonathan Alberto Zaldaña. Trabajo de Graduación, “Medidor inalámbrico de consumo de energía eléctrica de bajo costo”. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de El Salvador, 2011.

[74] Mingliu Zhang and Richard Wolff. “Crossing the Digital Divide: Cost- Effective Broadband Wireless Access for Rural and Remote Areas”. *IEEE Communications Magazine*, 42(2):99–105, febrero 2004.

