

## Artículo de Investigación

# Sistema de Información y Comunicación para Salud y Nutrición de niños desatendidos en áreas rurales de Nicaragua

### Sury Bravo

sbravo@diatel.upm.es  
Estudiante de Doctorado  
Departamento de Ingeniería y Arquitecturas Telemáticas  
Universidad Politécnica de Madrid (UPM)  
E.U.I.T Telecomunicación  
Carretera de Valencia, Km. 7, 28031  
Madrid  
España  
+34 913365526

### Miguel A. Valero

mavalero@diatel.upm.es  
Profesor Titular  
Departamento de Ingeniería y Arquitecturas Telemáticas  
Universidad Politécnica de Madrid (UPM)  
E.U.I.T Telecomunicación  
Carretera de Valencia, Km. 7, 28031  
Madrid  
España

### Iván Pau

ipau@diatel.upm.es  
Profesor  
Departamento de Ingeniería y Arquitecturas Telemáticas  
Universidad Politécnica de Madrid (UPM)  
E.U.I.T Telecomunicación  
Carretera de Valencia, Km. 7, 28031  
Madrid  
España

### Resumen

*Los Objetivos de Desarrollo del Milenio señalan la importancia de promover el conocimiento del estado de salud materno-infantil, en especial en las zonas más desprotegidas. El presente artículo detalla las acciones llevadas a cabo durante los años 2008 y 2011 en algunas comunidades rurales de Nicaragua con el objetivo de brindar un servicio de comunicaciones de bajo coste. Dicho servicio es administrado por el centro de salud de Cusmapa, que lidera el programa y mantiene una estrecha comunicación entre su personal y los brigadistas de salud de 26 comunidades aisladas. Los agentes locales, a través de la red de datos y voz WiMAX/WiFi instalada, pueden utilizar el sistema de comunicaciones para informar acerca de episodios urgentes de salud materno-infantil a fin de que sean evaluados o atendidos por dos médicos y seis enfermeras que se encuentran en el centro de salud. El objetivo de monitorizar el estado de salud y nutrición de la población materno-infantil es prevenir la aparición de enfermedades, evitar la desnutrición e incluso la muerte. Esta investigación asume los principios básicos de la tecnología adecuada buscando soluciones basadas en la comunidad, sostenibles, replicables y escalables a fin de garantizar futuros despliegues de acuerdo con las estrategias de Naciones Unidas.*

## 1. Introducción

Los gobiernos de todo el mundo deben garantizar la disponibilidad de servicios de salud, condiciones de trabajo saludables y seguras, una vivienda adecuada y alimentos nutritivos. El artículo 24 de la Convención sobre los Derechos del Niño establece que "Todos los niños tienen el derecho al disfrute del más alto nivel posible de salud, incluidos la asistencia médica y la atención sanitaria, el suministro de alimentos nutritivos adecuados y agua potable salubre." (Naciones Unidas, 1989). Estos factores influyen en el crecimiento y el desarrollo óptimos de los niños. El acceso al agua potable y a servicios primarios de salud determina fuertemente la calidad de vida de la población materno-infantil. Los países en desarrollo requieren atención, ya que una gran proporción de la población habita en áreas remotas que carecen de acceso a los servicios básicos de salud tales como controles prenatales, programas de inmunización y controles de crecimiento y desarrollo infantil.

El Informe sobre Desarrollo Humano 2011 de la Organización de las Naciones Unidas señala que el acceso a un servicio de salud adecuado y asequible continúa siendo un gran desafío (Naciones Unidas, 2011). Por

### **Jimena Duarte**

jimenaduartedevilla@gmail.com  
Ingeniera Técnica en  
Topografía  
Grupo de Ingeniería Sísmica  
Universidad Politécnica de  
Madrid (UPM)  
E.U.I.T Geodesia y Cartografía  
Carretera de Valencia, Km. 7,  
28031  
Madrid  
España

### **Montserrat Carrillo**

montserrat.carrillo@elea-  
soluciones.es  
Ingeniera de  
Telecomunicaciones  
MCN ELEA Soluciones  
Calle Sinesio Delgado, 14.  
Local 1, 28029  
Madrid  
España

### **José R. Blandino**

blandino@una.edu.ni  
Vicerrector  
Universidad Nacional Agraria  
Km. 12 Carretera Norte,  
apartado postal 43  
Managua  
Nicaragua

otra parte, el informe sobre la pobreza rural 2011 del Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola indica que cerca de 1.000 millones de personas que padecen hambre habitan las áreas rurales de las regiones en desarrollo y una gran proporción de las personas pobres y hambrientas son niños y jóvenes. La carencia grave y prolongada de alimentos provoca el deterioro físico, apatía, pérdida de sentido social e indiferencia (Trueba, 2006). Los habitantes de áreas bajo condiciones de pobreza son las primeras víctimas de la desnutrición. Los grupos más vulnerables de la población son los niños, las mujeres embarazadas y en período de lactancia, las personas con discapacidad, los enfermos y las personas mayores. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), cada año más de 200 millones de niños menores de 5 años no pueden alcanzar su pleno potencial cognitivo y social. Como consecuencia del escaso desarrollo, los niños pequeños son proclives a recibir atención de salud, nutrición y estímulos inadecuados (Organización Mundial de la Salud, 2007). Este hecho contribuye a la transmisión de la pobreza y al escaso desarrollo entre generaciones. Por tanto, es fundamental fomentar y garantizar el desarrollo en la primera infancia y apoyar a las familias con información y medios necesarios que brinden las condiciones adecuadas para su óptimo desarrollo.

Por ello, la OMS se centra en fomentar la toma de decisiones basadas en evidencia de tal forma que los profesionales de salud, gestores, planificadores, técnicos y políticos puedan suministrar la atención sanitaria de manera oportuna y adecuada a las poblaciones más necesitadas.

A fin de ayudar a alcanzar dicho objetivo, el presente artículo describe nuestra experiencia de campo en el análisis, diseño, implementación, despliegue y verificación de un sistema de información y comunicación basado en telemedicina. El sistema permite fortalecer la monitorización del estado de salud y nutrición de la población materno-infantil de las comunidades rurales remotas y desatendidas en Cusmapa, Nicaragua.

El presente proyecto de investigación está enmarcado en el programa "Comunidades Rurales del Milenio," de la Universidad Politécnica de Madrid, España, y en cooperación con otras universidades, como la Universidad Nacional Agraria de Nicaragua. El objetivo de la investigación es fortalecer la capacidades de las poblaciones rurales a través de proyectos replicables, sostenibles, escalables y basados en la comunidad, a fin de erradicar los componentes que extienden el ciclo del hambre, la pobreza y las enfermedades en consonancia con los ODM. Las áreas a las que está destinado el programa son las comunidades Chortí de Jocotán, Guatemala y la región Chorotega de Cusmapa, Nicaragua, que son territorios de América Central con altos índices de hambre, enfermedad y pobreza.

La siguiente sección de este artículo describe los trabajos relacionados que justifican el impacto de las tecnologías de la información y las telecomunicaciones (TIC) en diversos proyectos sanitarios en países en desarrollo. La tercera sección describe el perfil del sistema de salud de Nicaragua y el sitio elegido para la implementación del proyecto. La cuarta sección detalla la arquitectura del sistema de información y comunicaciones, y la quinta sección contiene los resultados obtenidos de la fase de verificación y validación. Por último, en la sexta sección se exponen la discusión, conclusiones y trabajos futuros.

## 2. Trabajos Relacionados del Impacto de las TIC en Países en Desarrollo

Las Naciones Unidas han declarado que el desarrollo humano y los avances tecnológicos se refuerzan mutuamente, con lo que se crea un círculo virtuoso. Las TIC permiten el proceso y el almacenamiento de inmensas cantidades de información a través de redes de comunicaciones. Cada vez resulta más evidente la importancia que posee el manejo de la información a fin de lograr los ODM de erradicar la extrema pobreza y el hambre. Trueba (2006) concluye que el intercambio diario de información precisa y las innovaciones institucionales requeridas para fomentar la participación de la población son asuntos fundamentales para el desarrollo humano.

Existe muchísima información en los países en desarrollo que se puede utilizar para identificar y cuantificar las variables y características del entorno a fin de llevar a cabo intervenciones, programas y proyectos sostenibles en cada región objetivo. Sin embargo, en los países en desarrollo la información no se recopila debido a la escasez de recursos financieros, la falta de formación del personal y de sistemas de comunicaciones.

Surana et al. (2008) describen un proyecto en zonas rurales de la India en el que han desplegado redes WiFi de larga distancia para suministrar videoconferencias de alta calidad entre hospitales oftalmológicos y centros de salud en zonas remotas, con el objetivo de erradicar la ceguera entre la población. Con su experiencia, concluyen que la tecnología WiFi permite reducir tanto los costes de despliegue como los operativos, ya que no incurre en gastos de licencias de la frecuencia y utiliza componentes de hardware listos para usar. Además, la frecuencia sin licencia da libertad operativa al hospital para establecer enlaces de comunicaciones cuando y donde sea necesario, lo cual incrementa la sostenibilidad del programa.

El informe "The Opportunity of Mobile Technology for Healthcare in the Developing World" (Vital Wave Consulting, 2009) analiza el potencial de las comunicaciones móviles para mejorar de manera sustancial la provisión de servicios de salud. Algunos beneficios de las comunicaciones móviles consisten en mejorar el acceso a los servicios de salud y a la información sanitaria, en especial, en las poblacio-

nes de difícil acceso; una mayor capacidad de diagnóstico y seguimiento de las enfermedades; información de salud pública más oportuna y accesible; y un incremento en el acceso continuo a la educación y formación médica disponible para los trabajadores de la salud. El informe concluye que las aplicaciones móviles de salud pueden tener un impacto positivo, significativo y duradero en los resultados sanitarios, tales como la reducción de la mortalidad infantil, vidas más largas y la reducción de la transmisión de enfermedades.

Mostafa et al. (2010) detallan el despliegue de servicios electrónicos de salud entre las poblaciones urbanas y rurales de Bangladesh. La base del despliegue propuesto es una unidad e-salud genérica que es flexible a diversos requisitos en diferentes escenarios de implementación. Analizan las características únicas y los requisitos de cada comunidad y como resultado plantean un sistema de e-salud centrado en el paciente. La unidad e-salud es un puesto de salud que contiene dispositivos de telemedicina y utiliza los enlaces existentes de telecomunicaciones para proporcionar servicios e-salud a pacientes bajo diversas circunstancias de cuidado.

La literatura estudiada nos muestra diversos tipos de investigación basados en las TIC para abordar los problemas presentados en la atención sanitaria en países en desarrollo (Dezhi y Ganegoda, 2010, agosto; Kuriyan, 2008; Vatsalan et al. 2010). Los beneficios de las TIC incluyen mejor atención sanitaria para pacientes de zonas aisladas donde los servicios médicos son insuficientes (monitorización remota de pacientes), así como una mayor disponibilidad de diagnósticos y asesoramiento médicos remotos a fin de proveer el tratamiento de algunas enfermedades. Las poblaciones rurales pueden beneficiarse de los servicios de salud basados en las TIC al reducirse la necesidad de tener que viajar grandes distancias para encontrarse con un médico en una consulta personal. En este sentido, WiMAX brinda una amplia cobertura y constituye una solución mucho más rentable que la tecnología cableada en zonas con una menor densidad de habitantes y, en especial, en áreas con una pobre infraestructura de comunicaciones, como San José de Cusmapa, en Nicaragua. WiMAX ofrece una *arquitectura flexible*, que incluye una cobertura punto a punto, punto a multipunto y ubicua para distancias de hasta 50 kilómetros. Es posible realizar un *rápido despliegue*,

Cuadro 1. Perfil del Sistema de Salud en Nicaragua.

Indicador	Cantidad
Índice de Desarrollo Humano	129
Población total	5,9 millones
% de población rural del total	42,4%
Tasa de mortalidad materna	1 <sup>a</sup>
Tasa total de fertilidad	2,5 <sup>b</sup>
Tasa de mortalidad infantil	23 <sup>a</sup>
Tasa de mortalidad de niños menores de cinco años	26 <sup>a</sup>

<sup>a</sup>Por cada 1.000 nacimientos con vida

<sup>b</sup>Nacimientos por mujer.

uno de los asuntos claves a fin de reducir costes del despliegue en países en desarrollo. En nuestro caso de estudio, utilizamos una frecuencia sin licencia (5,8 GHz) lo que nos permite disminuir los costes de la comunicación. Esta tecnología utiliza el IP que soporta todos los servicios multimedia, desde el protocolo de voz sobre IP (VoIP) hasta Internet y transmisión de vídeo de alta velocidad (Ibikunle y John, 2008). WiMAX desempeña un papel fundamental en varios proyectos y es ampliamente utilizada para soportar soluciones de telemedicina y e-salud en países en desarrollo (Chorbev, Mihajlov, y Jolevski, 2008; Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2010; Ying Su y Soar, 2010).

### 3. Perfil del Sistema de Salud en Nicaragua

El Cuadro 1 muestra información relacionada con el perfil sanitario de Nicaragua. Según el Índice de Desarrollo Humano de las Naciones Unidas (IDH-2011), Nicaragua se encuentra entre el grupo de países con un desarrollo humano medio, ubicado en la posición número 129, con un IDH de 0,589. Este bajo posicionamiento no se justifica si observamos los valores macroeconómicos, aunque los datos microeconómicos indican que un 15,8% de la población vive con menos de USD 1,25 al día y solo un 3,3% de la población es usuaria de Internet. Casi la mitad (42,4%) de la población del país vive en áreas rurales y sufre las consecuencias de instalaciones sanitarias deficientes y de la escasez de profesionales de la salud; el índice de mortalidad materna es de 1 muerte por cada 1.000 nacimientos con vida. Las razones de la falta de disponibilidad de servicios de salud en las zonas rurales son las asignaciones

presupuestarias insuficientes para la salud, la distribución desigual de ingresos y bienes de producción, áreas de difícil acceso y la alta probabilidad de fenómenos naturales adversos en todo el territorio.

#### 3.1 Centros y puestos de salud

El Ministerio de Salud de Nicaragua (MINSa) es el principal prestador de servicios de salud del país a través de su red de servicios en el primer y segundo niveles de atención (Organización Panamericana de la Salud, 2009). El primer nivel de atención del MINSa está compuesto por los centros de salud (CS) y los puestos de salud (PS). Hay centros de salud en cada municipio, con diferente capacidad resolutoria: algunos tienen camas y otros no. Algunos de los PS son atendidos por el subsistema comunitario (brigadistas, parteras y colaboradores voluntarios) en los días en que el personal de salud del CS no atiende el PS. Están ubicados en pequeñas localidades de no más de 1.000 habitantes, no poseen líneas telefónicas y cuentan con redes de caminos deficientes. Los PS dependen de los CS para la remisión de casos graves, dispensación de medicamentos, el manejo de epidemias y la coordinación de las actividades generales dentro de la microrred. Como resultado de la falta de sistemas de comunicación, cuando el personal sanitario necesita intercambiar información debe viajar a pie, a caballo o mediante vehículos, lo cual puede demorar horas o, incluso, días.

#### 3.2 Personal sanitario

Los PS no cuentan con personal permanente. Sus empleados son los mismos profesionales del centro de salud. Dos veces por semana, el director médico del CS realiza visitas prioritarias a las comunidades rurales en donde hay puestos de salud. Los profesionales de la salud (generalmente, un médico y dos o

tres enfermeras) viajan a un puesto de salud con el fin de realizar consultas médicas generales, consultas de control prenatal para mujeres embarazadas, control de crecimiento y desarrollo infantil, y vacunación. Como consecuencia, los CS permanecen con menos capacidad de respuesta dado que el personal sanitario se ausenta para atender a pacientes en las zonas rurales. El personal sanitario también se ocupa de las tareas administrativas (elaboración de informes de atención sanitaria, epidemiología, inmunización, entre otros) debido a la falta de personal.

En general, la gente no posee conocimientos técnicos (específicamente en formación TIC), como es el caso de las comunidades beneficiarias del proyecto propuesto en la región de Cusmapa en Nicaragua.

### **3.3 Sistemas de información administrativa y sanitaria**

La información sanitaria es actualizada de manera manual y está basada en papel. Periódicamente, el CS envía a la oficina del SILAIS (Sistema Local de Atención Integral de Salud) encuestas e informes epidemiológicos relativos a la monitorización, promoción, crecimiento y desarrollo de los niños; visitas médicas del mes; cantidad de nacimientos; ingresos a la casa materna y planificación familiar.

### **3.4 Recursos y situación demográfica**

La gran mayoría (80%) de la población de la región de Cusmapa se dedica a actividades rurales, y la mayoría de los caminos deben ser recorridos a pie o a lomo de animal. El informe de la Organización Panamericana de la Salud respecto de las inequidades sanitarias nicaragüenses muestra que el porcentaje de la población que vive a más de 5 kilómetros del centro de salud más cercano es mucho más alto en las áreas rurales, y se tarda aproximadamente unos 81 minutos en vehículo o unas 6 horas a pie en llegar. Los recursos humanos, financieros y materiales existentes son insuficientes. Dados los antecedentes mencionados, hemos identificado las siguientes necesidades en las comunidades rurales (PS) y en el municipio (CS).

#### **Comunidades rurales**

Las comunidades rurales de Cusmapa padecen las siguientes problemáticas:

- Falta de electricidad.
- Enormes distancias entre comunidades rurales y el centro de salud.

- Falta de infraestructura vial.
- Falta de información actualizada respecto del estado de salud y nutrición de la zona.
- Falta de infraestructura pública de comunicaciones. Algunas personas poseen teléfonos móviles, pero con frecuencia no pueden utilizarlos debido a la falta de crédito para realizar llamadas.
- Ausencia de puestos de salud en algunas comunidades.
- El personal de salud no es suficiente. Si bien el personal sanitario realiza consultas médicas en algunas áreas dos veces por semana, no existen profesionales de la salud suficientes que brinden un servicio adecuado a todas las comunidades.
- Falta de formación en TIC.

#### **Municipios**

Los municipios padecen las siguientes problemáticas:

- Los recursos disponibles en los centros de salud dependen del presupuesto destinado por el Ministerio de Salud, y algunas veces la cobertura sanitaria no es suficiente para proveer los servicios necesarios a todas las comunidades.
- La infraestructura de comunicaciones solo es utilizada por el director médico, y el presupuesto asignado por el SILAIS en muchos casos resulta insuficiente.
- El personal médico y administrativo resulta insuficiente para brindar asistencia a la comunidad entera, si consideramos la segregación de la población y el difícil acceso a las áreas rurales remotas.
- Existe una escasa formación en TIC.

### **3.5 Perfil de la región elegida para la implementación del proyecto**

Los estudios de factibilidad iniciales respecto del impacto de los ODM condicionaron la decisión de elegir el municipio de San José de Cusmapa para desplegar el piloto de manera escalable y replicable. La decisión fue tomada basándose en los graves problemas de accesibilidad debidos al terreno sumamente escarpado y los altos índices de desnutrición crónica (cerca del 32,5%). El municipio de San José de Cusmapa pertenece al departamento de Madriz, ocupa un área de 129,9 kilómetros cuadrados y se

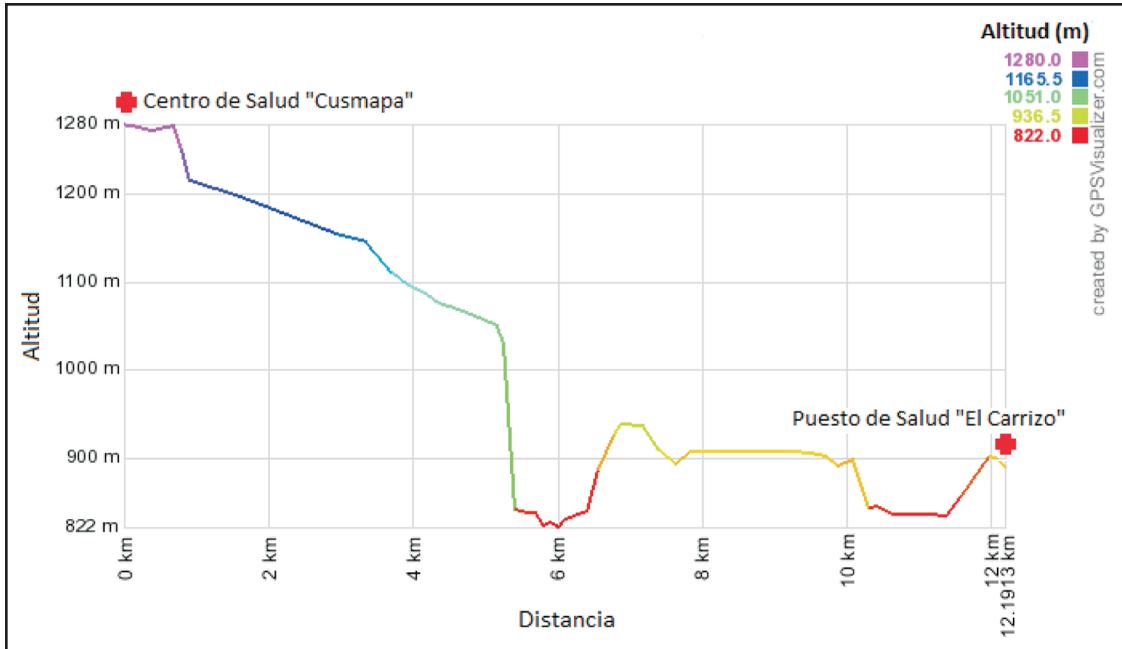


Gráfico 1. Situación demográfica.

encuentra a 274 kilómetros de la capital, Managua. El municipio está ordenado en 3 áreas urbanas y 7 microrregiones conformadas por 26 comunidades. La población predominantemente es rural (80,1%) (INIDE, 2005), el territorio es de difícil acceso por lo que se considera que ha vivido aislada durante décadas del resto del país. La infraestructura de las telecomunicaciones es restringida en el CS ubicado en San José de Cusmapa, y no existe en El Carrizo, la comunidad en donde está ubicado el PS, el cual se encuentra a 12 kilómetros de distancia a pie respecto de la cabecera municipal.

El CS San José de Cusmapa es el único centro de la cabecera municipal y debe atender a una población rural de 7.072 habitantes. El CS está dirigido por un director médico apoyado por un médico general, seis enfermeras y un técnico sanitario, y cuenta con una ambulancia para el transporte de pacientes. El CS de Cusmapa depende del área sanitaria cuya administración a cargo está ubicada en Somoto, casi a dos horas de distancia en auto.

Hemos elegido el PS de la comunidad El Carrizo, ubicada a 7,4 kilómetros en línea de visión del centro sanitario más cercano. Resulta difícil acceder a este puesto de salud dado que solo cuenta con un camino no asfaltado, pronunciado relieve con altu-

ras de entre 800 y 1.300 metros por sobre el nivel del mar (Gráfico 1). El PS se encuentra bastante deteriorado, con pocos suministros médicos y brinda un servicio deficiente. El PS atiende a casi 2.000 personas de las siete comunidades lindantes (Las Jaguas, Jocomico, El Gavilán, El Ángel III, El Jobo, Aguas Calientes y La Jabonera). Por tanto, la zona necesita una oportuna y adecuada atención sanitaria; evidencia de ello son las altas tasas de desnutrición crónica, del 58,33%, y el retraso en el crecimiento, del 26,88%.

#### 4. Arquitectura del Sistema de Información y Comunicaciones

El informe de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) titulado "Implementing e-Health in Developing Countries" enfatiza que las organizaciones deben ser respetuosas con los equipos organizativos existentes en los lugares en donde se despliegue la tecnología (ITU, 2008). El informe recomienda que la población local tome el control de la tecnología (empoderamiento local) a fin de lograr su evolución y fomentar la innovación en sus propios procesos. En consonancia con dicha recomendación el principal objetivo de esta investigación es mejorar el acceso al cuidado de la salud para las

Cuadro 2. Principios de Diseño.

Característica	Descripción
Madurez tecnológica	WiMAX y WiFi son las tecnologías más influyentes de la actualidad. WiMAX puede considerarse una solución para cubrir los agujeros en la cobertura de los puntos de acceso WiFi y para permitir la conectividad de largas distancias. La tecnología WiFi se utiliza mayormente en computadoras portátiles, teléfonos móviles, y <i>smartphones</i> . Por tanto, los componentes para desplegar redes basadas en este tipo de tecnología están fácilmente disponibles y a precios asequibles, lo que disminuye los costes de mantenimiento.
Bajo costo	WiMAX requiere una escasa o nula construcción de planta externa. En las zonas rurales, las grandes distancias del punto de acceso a la red central y la dispersa ubicación de los hogares y las comunidades hacen que cualquier despliegue se torne muy costoso. La tecnología WiFi permite la conexión de dispositivos como computadoras portátiles y teléfonos celulares sin costo de comunicación alguno.
Flexibilidad	El protocolo de Internet (IPv4) utilizado en la red permite una adecuada integración de servicios debido a que está incluido en la mayoría de desarrollos TIC y dispositivos de comunicaciones. La proliferación de dispositivos compatibles con protocolos inalámbricos ofrece una enorme flexibilidad respecto del diseño de las aplicaciones para áreas rurales.
Servicios adicionales	Nuestra solución no debería restringirse solo a la provisión de un enlace de comunicación sino que debería brindar una sólida comunicación entre las comunidades urbanas y rurales y por ende, permitir aplicaciones futuras adicionales, como la recolección remota de datos, la monitorización remota, el seguimiento de brotes epidémicos y la formación para el personal sanitario.
Línea base	Este proyecto podría permitir que donantes o partes interesadas desplieguen el sistema en otras comunidades, extiendan la solución e incluso desarrollen un modelo de negocio para el beneficio de la población.

poblaciones materno-infantiles a través de TIC sostenibles, de bajo coste, replicables y escalables. Este objetivo principal está estructurado a través de dos objetivos específicos:

- **Objetivo específico 1.** Desarrollar una plataforma de comunicaciones para servicios basados en TIC desde el centro de salud San José de Cusmapa hacia comunidades remotas como El Carrizo. La plataforma de comunicaciones debería incluir un servicio de voz entre las comunidades rurales y el personal médico del municipio ubicado en el centro de salud. La plataforma debe ser compatible con los procedimientos organizativos existentes en el área y debe solucionar las limitaciones mencionadas en el siguiente apartado.
- **Objetivo específico 2.** Desplegar un sistema de información de apoyo al servicio de salud materno-infantil actual. El sistema incluirá una plataforma de información que ayudará a mejorar los controles prenatales tempranos y la monitorización del crecimiento y del desarrollo

infantil de la zona. La monitorización del estado de salud materno infantil puede ayudar a identificar la detección temprana de la desnutrición.

#### 4.1 Principios generales del modelo

Luego de definir los objetivos, realizar el análisis de antecedentes y cumplir con los requisitos funcionales y no funcionales, se ha definido un modelo general del sistema. Este modelo deberá representar las diversas partes funcionales que componen la solución completa, teniendo en cuenta el sistema organizativo actual y la posibilidad de replicar el sistema en otras comunidades. El Cuadro 2 muestra algunas de las características claves consideradas en las fases de diseño e implementación.

#### 4.2 Plataforma de comunicaciones

De acuerdo con los principios de diseño incluidos en el Cuadro 2, proponemos una infraestructura de redes que consiste en 1) enlace WiMAX punto-a-multipunto que permita la interconexión entre la estación base (desplegada en el CS) y las estaciones

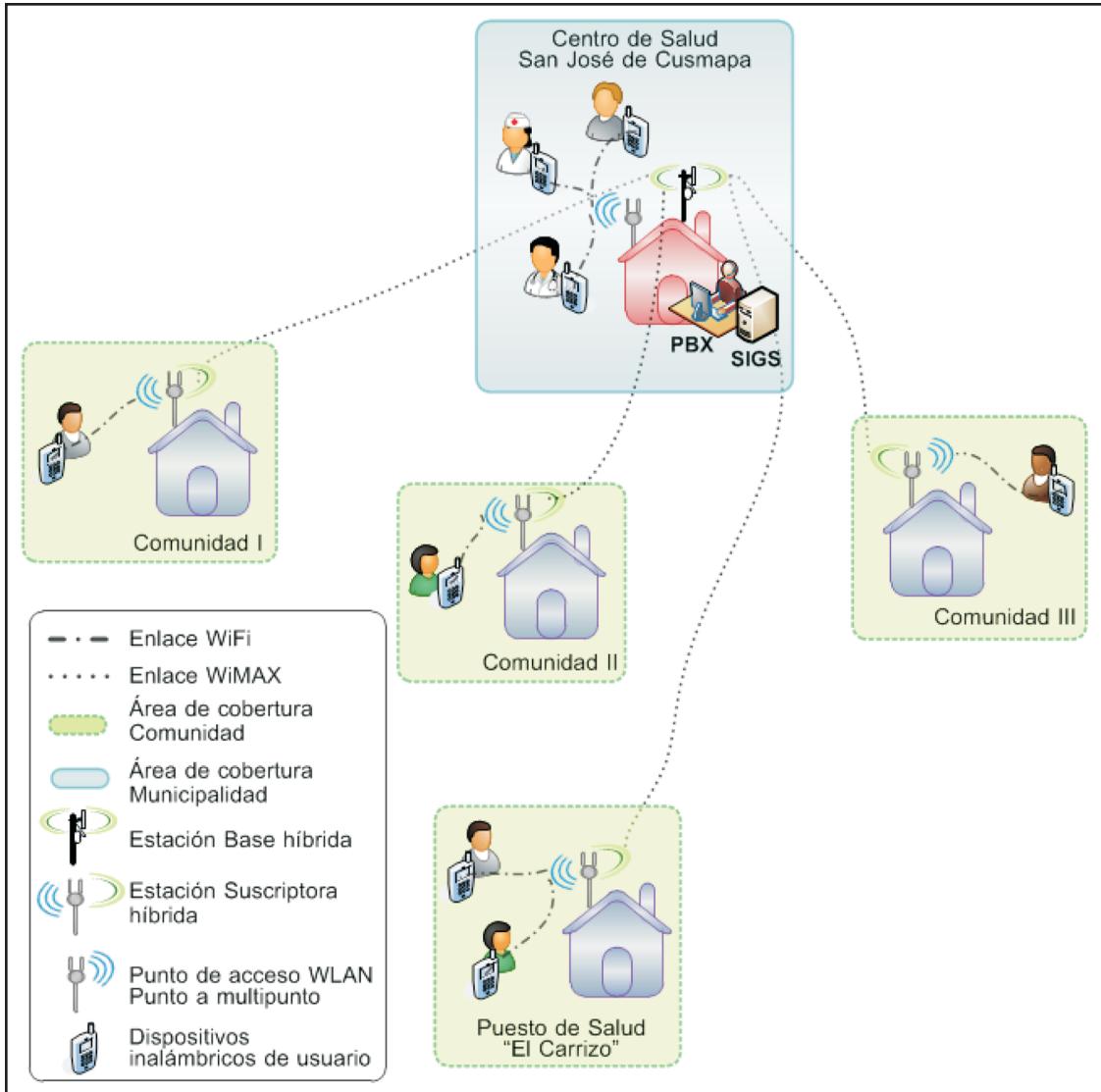


Gráfico 2. Componentes de la arquitectura.

suscriptoras (desplegadas en el PS o en las comunidades) y 2) un enlace WLAN punto-a-multipunto basada en WiFi que proporcione acceso a dispositivos de usuarios inalámbricos (computadoras portátiles, teléfonos celulares con WiFi, etc.) ubicados en ambos sitios. Esta solución añade innovación a las anteriores experiencias en el área de instalaciones radio punto-a-punto debido a que los usuarios pueden utilizar teléfonos móviles con tecnología WiFi sin ningún coste en lugar de radios fijas en distancias mayores a 10 kilómetros. El Gráfico 2 muestra los enlaces de la conexión.

**Estación base híbrida:** Este enlace punto-a-multipunto de larga distancia (de 1 a 30 kilómetros) para conexión inalámbrica exterior de banda ancha está instalado en el CS e incluye una unidad interna pequeña instalada sobre un mástil de 30 metros y una antena sectorial de 120° para 5,8 GHz (15 dBi) en una banda exenta de licencias con el fin de abarcar a todas las comunidades objetivo del área. Se ofrece una conectividad estable entre el centro de salud del municipio y las comunidades rurales a través de un nodo montado sobre una antigua torre de radio disponible en el CS.

**Unidad suscriptor híbrida:** Este componente permite la conexión de datos a la estación base híbrida y soporta múltiples usuarios en los puestos de salud. La unidad suscriptor incluye una antena plana integrada de gran alcance, de polarización vertical y un dispositivo Wi<sup>2</sup> para exteriores con dos antenas omnidireccionales de 8 dBi. El uso de tecnología de conmutación de paquetes proporciona a los usuarios una conexión permanente a la red, lo cual permite un acceso inmediato a los servicios. Esta configuración habilita una plataforma eficiente para servicios de intranet, como la conexión VoIP entre el CS del municipio y las comunidades vecinas. Estos dispositivos están ubicados en las comunidades, como en el caso de nuestra comunidad piloto El Carrizo, en donde no hay red eléctrica. Se utilizaron algunos paneles solares de la escuela de El Carrizo a fin de obtener la suficiente alimentación eléctrica (cerca de 30 vatios) que soportara todos los dispositivos de la unidad suscriptor.

**Punto de acceso WLAN punto-a-multipunto:**

Permite extender las capacidades existentes de la red WiMAX mediante el uso del dispositivo Wi<sup>2</sup> Extender equipado con dos antenas verticales omnidireccionales de 8 dBi y que ha sido instalado en el CS. Este componente permite habilitar prestaciones WiFi con el fin de conectar diferentes dispositivos, como computadoras portátiles y teléfonos móviles.

**Dispositivos inalámbricos de usuario:** Comprenden los dispositivos de usuario con prestaciones WiFi, como computadoras portátiles, teléfonos celulares o *softphones*, que son utilizados para la comunicación VoIP. En la instalación se validaron teléfonos Nokia E51 y E65.

El mismo esquema puede replicarse en otras comunidades. Es necesario contar con las terminales adecuadas que soporten la integración con la plataforma y las funciones requeridas para el despliegue de los servicios tanto en el CS como en el PS. También se debe cumplir con los aspectos económicos y energéticos obtenidos a partir de la caracterización del lugar.

La solución de voz definida en el objetivo se ha implementado mediante el uso de VoIP. Se suministraron teléfonos móviles con protocolo SIP al médico, a la enfermera y al técnico de salud en el CS de Cusmapa, adicionalmente se han instalado teléfonos software en el computador del centro. En el PS El Carrizo se proporcionaron teléfonos de las

mismas características al personal comunitario (partera y brigadista). Adicionalmente, en el CS se ha instalado un servidor de comunicaciones que permite realizar llamadas a través de funciones de PBX (centralita). Por tanto, brindamos una red WiMAX-WiFi con una PBX VoIP que permite comunicaciones locales gratuitas entre el centro de salud y las comunidades en distancias de hasta 30 kilómetros mediante el uso de teléfonos móviles de bajo coste.

### **4.3 Sistema de Información de apoyo a la salud materno-infantil**

Se desarrolló un sistema de información geográfica sanitaria (SIGS) a fin de facilitar la representación de los indicadores de salud y nutrición en las comunidades y sectores. Esta aplicación combina sistemas de información geográfica y datos sanitarios de la población con el objetivo de analizar la distribución de la población materno-infantil en riesgo, la distribución de enfermedades y la distribución de personas con discapacidad.

El Gráfico 3 muestra las distintas etapas del desarrollo e implementación del SIGS. La primera fase inicia con la recolección de datos, como el estado nutricional, inmunización, discapacidades, infraestructura de la vivienda y coordenadas geográficas de las viviendas de las comunidades piloto. Los datos se recopilaron durante un período de seis meses mediante la realización de encuestas a la población de las comunidades locales. Utilizamos los formularios del Programa de Atención Integral a la Niñez Nicaragüense del Ministerio de la Familia, Niñez y Adolescencia así como los historiales familiares provistos por el centro de salud. Algunos indicadores sanitarios de cada módulo se muestran en el Cuadro 3. La información cartográfica fue provista por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). La segunda fase se centró en el procesamiento de los datos que se tenían en papel convirtiéndolos en archivos digitales que se pudiesen procesar y administrar en la base de datos. Esta etapa fue desarrollada con el software libre GvSIG. Por último, la etapa de validación se llevó a cabo con participantes locales, como el personal médico del centro de salud.

Tal como muestra el Gráfico 4, San José de Cusmapa es un territorio compuesto por siete microrregiones y 26 comunidades. Debido a los altos índices de desnutrición crónica existentes en la región, resulta importante realizar la monitorización del

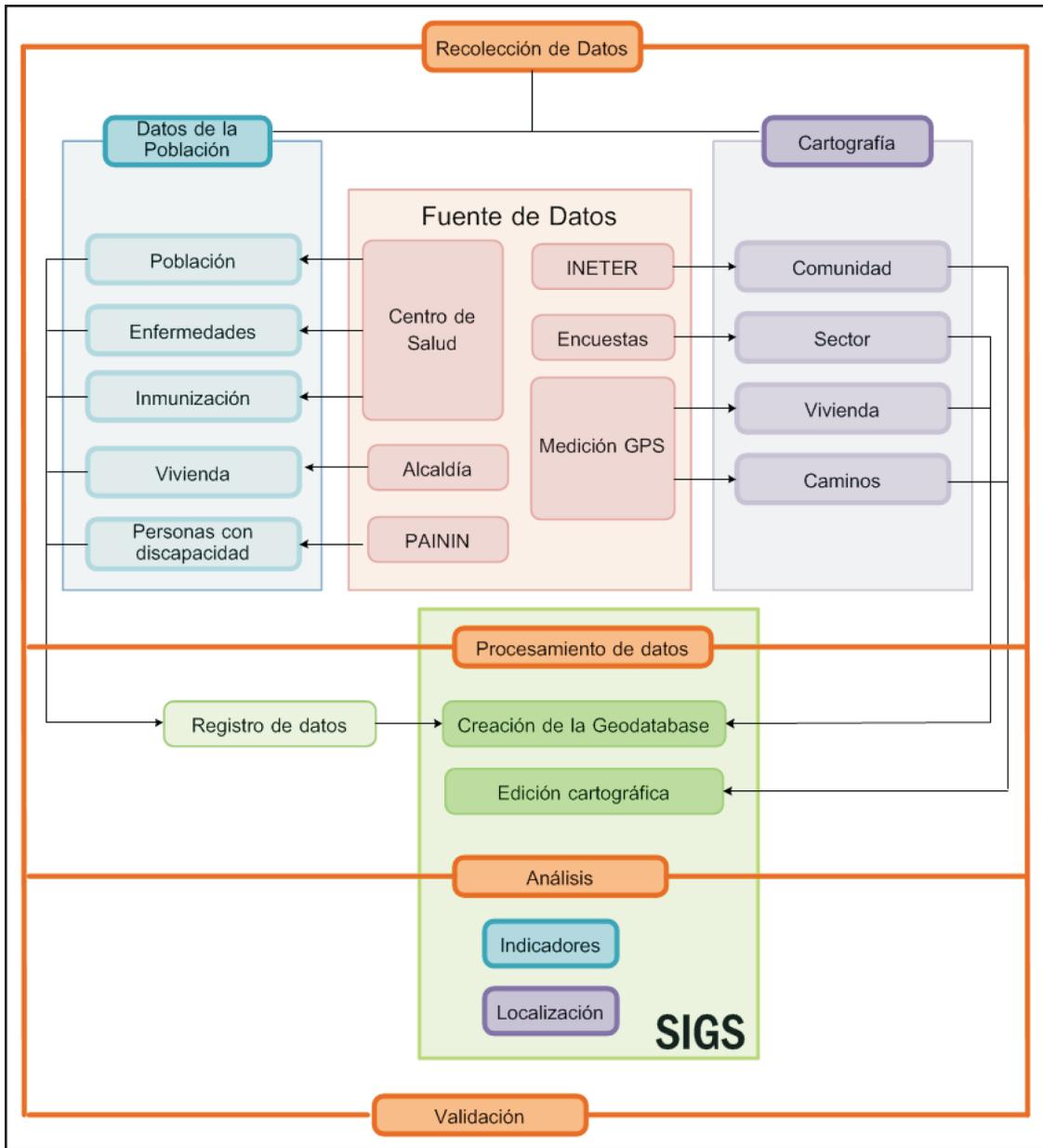


Gráfico 3. Etapas del desarrollo e implementación del sistema de información geográfica sanitaria.

estado de salud materno-infantil de la población, por lo que se han diferenciado cuatro módulos: mujeres fértiles, niños, personas con discapacidad y enfermedades. El ámbito territorial en el que se van a tratar estos módulos serán las comunidades, sectores y viviendas.

El Gráfico 5 muestra uno de los indicadores que caracterizan la pobreza a nivel de la comunidad. La cantidad de nacimientos con asistencia médica se

relaciona con la pobreza debido a que la población de bajos ingresos tiene menos acceso a los servicios básicos de salud, como es el caso del parto institucional. Existen diversos factores que influyen en la accesibilidad a los servicios sanitarios: por un lado, las dificultades en la accesibilidad geográfica de la población, especialmente para los sectores más pobres que no tienen capacidad económica para los costes de transporte en zonas dispersas y, por otro

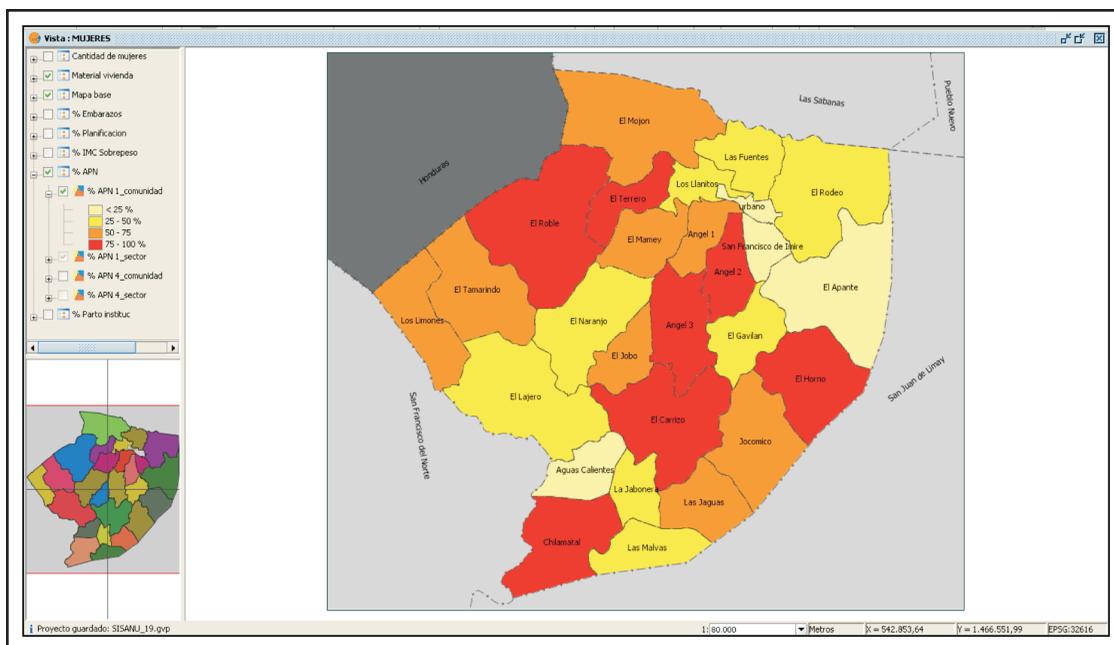


Gráfico 4. Comunidades de San José de Cusmapa.

lado, los costes de alojamiento en las cabeceras municipales.

El Gráfico 6 muestra la representación de las distintas enfermedades presentes en la zona agrupadas por sectores, con el fin de facilitar la detección de brotes y la evaluación del aislamiento (originados por la distancia, la cantidad de habitantes, o la falta de atención sanitaria).

Las enfermedades también se pueden representar a nivel de vivienda, mediante símbolos que distinguen la cantidad de casos presentados y la localización geográfica de la vivienda (Ver Gráfico 7). Utilizamos coordenadas geográficas para localizar las viviendas de los pacientes y analizar la posible vinculación entre el estado de salud y las características de la vivienda (como los materiales del techo, el suelo, las paredes, el acceso a agua potable, la disponibilidad de depósito de excretas y el desecho de basuras). Esta clasificación permite la detección temprana del origen del problema a fin de implementar medidas que alivien y mejoren de forma permanente el estado de salud de la población.

El sistema de información geográfica sanitaria también permite la representación de temas relacionados con la salud materno-infantil y la nutrición a través del mapeo temático. Es posible obtener informes como la programación del siguiente control

prenatal, de nutrición y vacunación. El objetivo de la vigilancia perinatal es la reducción de la mortalidad materna y perinatal.

Nuestro sistema brinda información que permite monitorizar el crecimiento y desarrollo de los niños. El sistema permite actualizar la información nutricional de los niños y planificar la siguiente cita de control. En consecuencia, podemos recabar una gran cantidad de datos que pueden utilizarse para generar información estratégica, como la cantidad de niños menores de 5 años agrupados por comunidad o sector, la cantidad de niños con desnutrición, etc.

El personal sanitario local puede identificar con facilidad los diversos fenómenos sanitarios mediante el uso del SIGS, ya que pueden estudiar los principales factores de riesgo para un período y una ubicación específicos. Además, el SIGS puede ayudar en la identificación de patrones en una distribución espacial de los factores de riesgo y sus consecuencias sobre la salud.

## 5. Validación y Resultados

Se definió un período de prueba de 12 meses entre agosto de 2010 y 2011. El director del CS de Cusmapa, un técnico sanitario y seis enfermeras estuvieron involucrados en el piloto. Durante dicho período de validación, se obtuvo información del sistema

*Cuadro 3. Indicadores Sanitarios para el Sistema de Información Geográfica Sanitaria.*

<b>Módulo</b>	<b>Indicadores de salud</b>
1. Mujeres fértiles	1.1. Mujeres entre 15 y 49 años de edad. 1.2. Cantidad de mujeres con al menos un control prenatal. 1.3. Cantidad de mujeres con cuatro controles prenatales. 1.4. Porcentaje de mujeres con anemia. 1.5. Cantidad de mujeres que utilizan planificación familiar (edad de riesgo: menores de 19 y mayores de 35 años). 1.6. Porcentaje de mujeres que están embarazadas. 1.7. Porcentaje de mujeres con sobrepeso o por debajo de su peso. 1.8. Cantidad de muertes fetales. 1.9. Cantidad de muertes maternas. 1.10. Cantidad de muertes maternas durante el embarazo. 1.11. Cantidad de muertes maternas durante el parto. 1.12. Cantidad de muertes maternas durante el puerperio.
2. Niños	2.1. Cantidad de niños de entre 0 y 5 años. 2.2. Porcentaje de nacimientos con asistencia médica. 2.3. Porcentaje de niños con bajo peso al nacer. 2.4. Porcentaje de niños menores de un año vacunados contra BCG y sarampión, paperas y rubeola (MMR). 2.5. Porcentaje de niños mayores de 6 meses vacunados contra la poliomielitis. 2.6. Porcentaje de niños mayores de 1 año que recibieron la vacuna DPT. 2.7. Prevalencia de desnutrición según bajo peso para la edad en niños menores de 5 años. 2.8. Prevalencia de desnutrición crónica de niños menores de 5 años. 2.9. Prevalencia de desnutrición según bajo peso para la talla de niños menores de 5 años. 2.10. Porcentaje de niños menores de 5 años con estado psicomotor insatisfactorio. 2.11. Porcentaje de niños menores de 5 años desnutridos. 2.12. Proporción de niños lactantes con lactancia exclusiva hasta los 6 meses de edad. 2.13. Prevalencia de anemia en niños menores de 5 años. 2.14. Prevalencia de infecciones respiratorias agudas (IRA) en niños menores de 5 años.
3. Personas con discapacidad	3.1. Cantidad de personas discapacitadas. 3.2. Cantidad de personas según el tipo de discapacidad (de acuerdo con la Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud). 3.3. Cantidad de personas con cambios en el funcionamiento mental. 3.4. Cantidad de personas con cambios sensoriales y dolor. 3.5. Cantidad de personas con cambios en el funcionamiento de la voz y del habla. 3.6. Cantidad de personas con cambios en el funcionamiento orgánico. 3.7. Cantidad de personas con cambio en el funcionamiento neuromusculoesquelético y relacionado con el movimiento. 3.8. Cantidad de personas con cambios en el funcionamiento de la piel y estructuras relacionadas.
4. Enfermedades	4.1. Cantidad de personas según el tipo de enfermedad de acuerdo con el mapa de riesgos del CS (IRA, tuberculosis, EDA chagas, leptospirosis, VIH, dengue clásico, dengue hemorrágico, malaria).

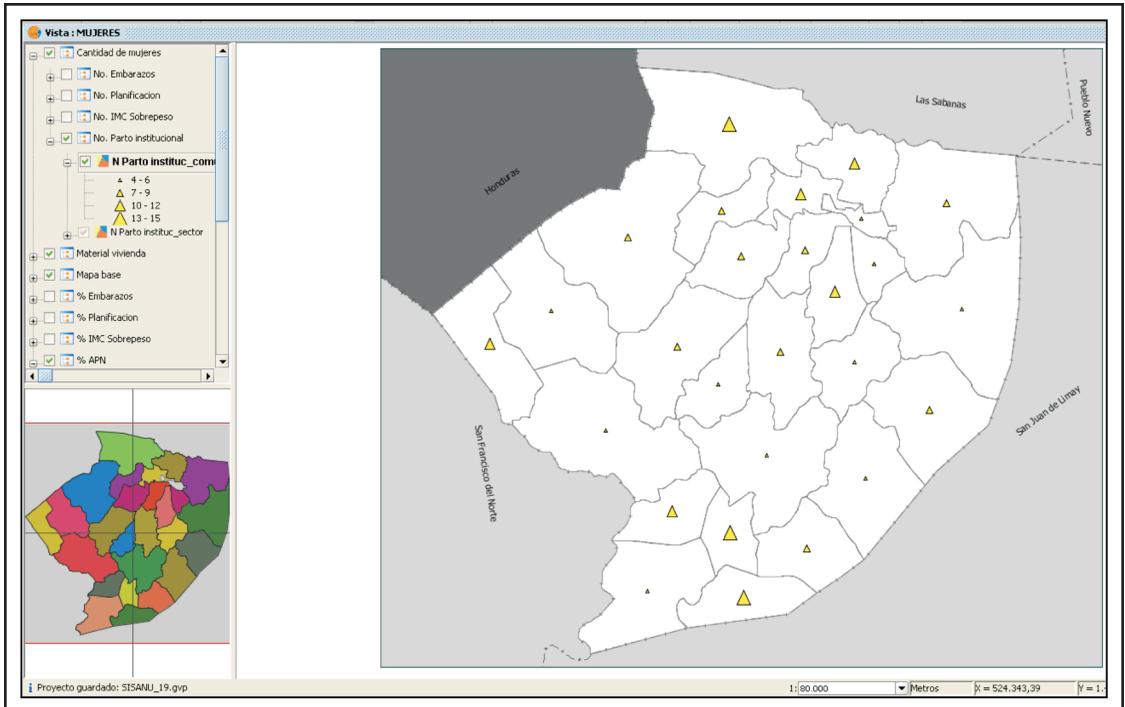


Gráfico 5. Número de partos con asistencia médica agrupados por comunidad.

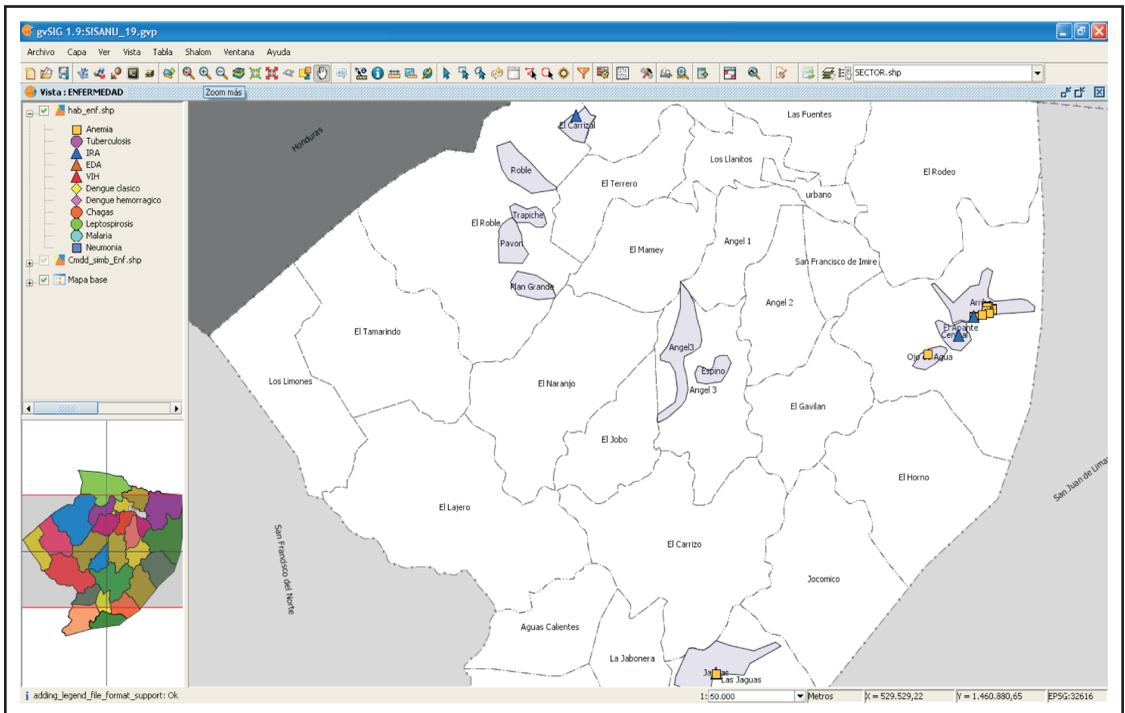


Gráfico 6. Representación de tipos de enfermedad agrupadas por sector.

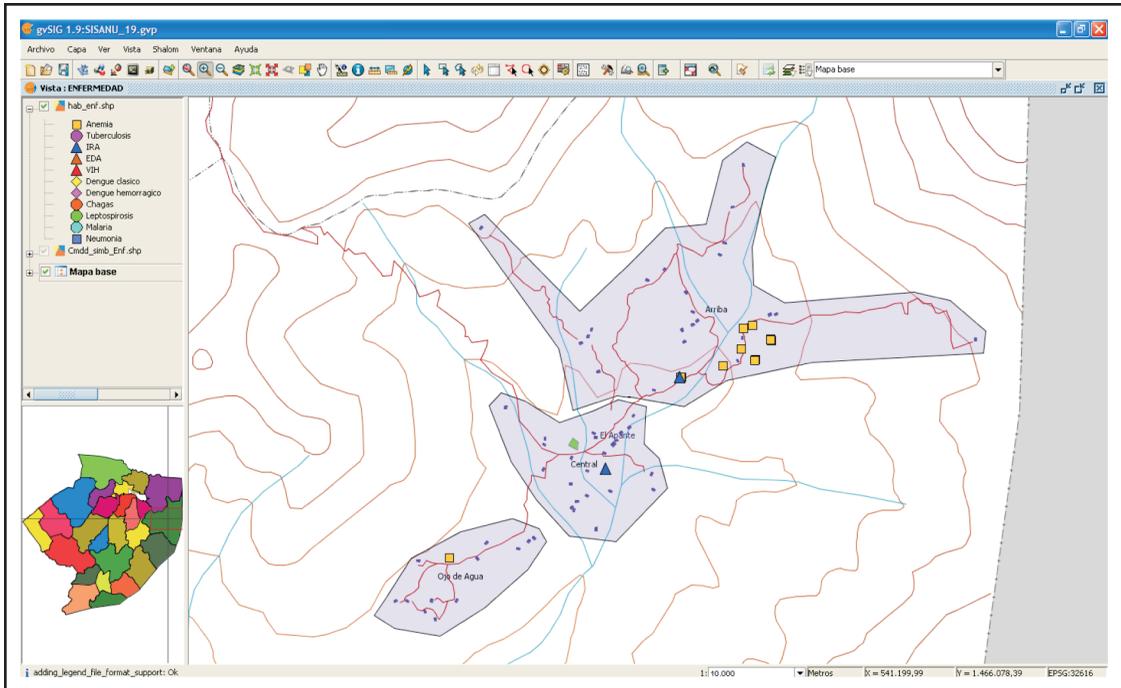


Gráfico 7. Tipo de enfermedades a nivel de vivienda.

a través de dos procedimientos: estadías intermitentes en la región de San José de Cusmapa por parte de un miembro del grupo de investigación y comunicaciones vía correo electrónico con el personal sanitario del CS. A continuación se enumeran los resultados de validación para la solución propuesta.

### 5.1 Verificación técnica

#### 5.1.1 Conexiones inalámbricas

Tanto las conexiones WiMAX como WiFi han funcionado ininterrumpidamente, excepto por pequeños cortes debidos a fallas en el suministro eléctrico. La tecnología utilizada en el despliegue (Alvarion BreezeNETB y extensores Wi2) fue verificada en el laboratorio de I&D de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones (EUITT) en la Universidad Politécnica de Madrid con el fin de probar el rendimiento de la solución. Tal como indica el Gráfico 8, se realizaron simulaciones con el software libre Radio Mobile mediante el uso de datos reales recogidos durante las etapas de análisis.

Según una potencia Tx de 0,0079 W, 9 dBm, y considerando una pérdida de línea de 0,5 dB, necesitamos una potencia de radiación de 0,89 W con una ganancia de antena de 21 dBi. La posición del CS y de las comunidades sugieren la necesidad de

un mástil de antena de 32 metros. La transmisión de VoIP no requiere conexiones de banda ancha, aunque las conexiones de WiMAX y WiFi garantizaron 1 Mbp para la distancia de 7,4 kilómetros. Dado que la escuela de El Carrizo se encuentra en una elevación más alta, solo necesitamos un mástil de 6 metros para brindar la altura de la antena de 12 metros, como sugiere la simulación de Radio Mobile.

La instalación y las actividades finales de capacitación (que se desarrollaron a lo largo de una semana) confirmaron las pruebas de laboratorio. A pesar de las desventajas de las condiciones climáticas debido a la temporada de lluvias en la zona, cerca de un 70% de la potencia de la señal de radio se logró según el indicador de conexión del transmisor, que permitió la satisfactoria comunicación de VoIP.

El Gráfico 9 muestra la instalación del mástil y de las antenas WiMAX-WiFi, así como las actividades de capacitación en la escuela El Carrizo.

#### 5.1.2 Protocolo IP y servicio de voz: PBX

Surgieron dificultades de comunicación debido a la configuración de los terminales móviles ubicados en El Carrizo. Dicho incidente creó interrupciones inter-

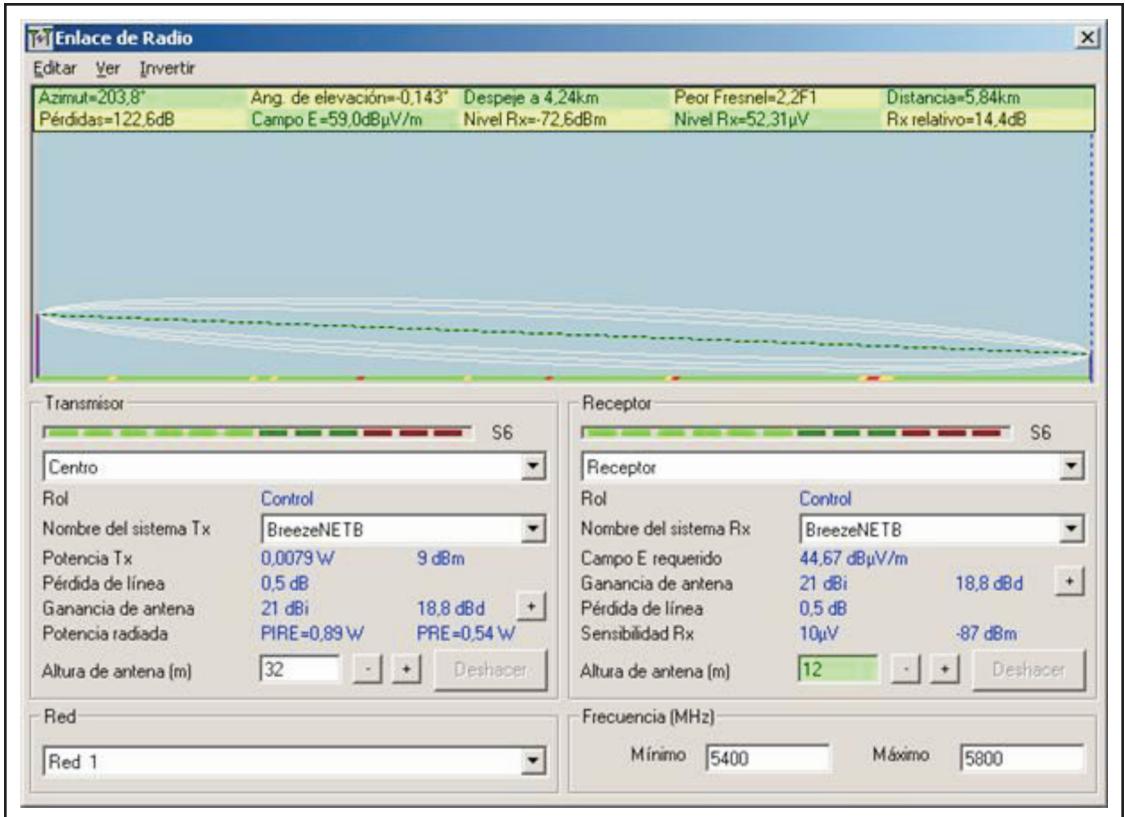


Gráfico 8. Verificación técnica del enlace WiMAX.

mitentes en el servicio de voz que no pudieron ser resueltas sin personal técnico capacitado.

No se detectaron inconvenientes en el rendimiento de VoIP a través de los enlaces radio. Los reinicios ocasionales no provocaron ningún error en la configuración de la PBX, y no hubo necesidad de gestionar el enlace radio en ningún momento. La versión gratuita del software 3CX utilizado como PBX es muy amigable para el usuario y facilita tareas relativamente complejas, como adicionar un terminal nuevo y la asignación de una extensión.

## 5.2 Evaluación de la organización

### Municipio de San José de Cusmapa

En el último año, el director del CS de San José de Cusmapa ha sido cambiado, debido a que el cargo es renovado cada dos o tres años. Estos cambios de personal condujeron a cambios en la organización del CS y, en especial, en la asignación de roles. Este cambio organizativo condujo a que el uso del SIGS fuera suspendido así como a complejidades adicionales relacionadas con el registro o la actualización

de datos del año 2011. Si bien el nivel de satisfacción del personal sanitario parece adecuado, han solicitado añadir nuevas características que faciliten la actualización de los datos en el sistema de información y mejoren la interfaz del usuario. Dichos requisitos fueron considerados en las tareas de revisión llevadas a cabo en agosto de 2011 mediante la instalación del software ANTHRO, provisto por la Organización Mundial de la Salud. Adicionalmente fueron realizadas actividades de formación y validación para el uso de Anthro con el técnico de salud. Respecto a la interfaz de usuario, actualmente estamos desarrollando una solución más sencilla basada en web para que el personal sanitario pueda registrar los formularios de manera más amigable.

### Comunidad rural El Carrizo

Los dispositivos móviles del PS de El Carrizo están a cargo del personal comunitario, que recibe el apoyo de las comunidades locales con el fin de asistir en aspectos relacionados con la organización. Sin embargo, debido a la dedicación parcial del personal voluntario, la tecnología no ha estado siempre dis-

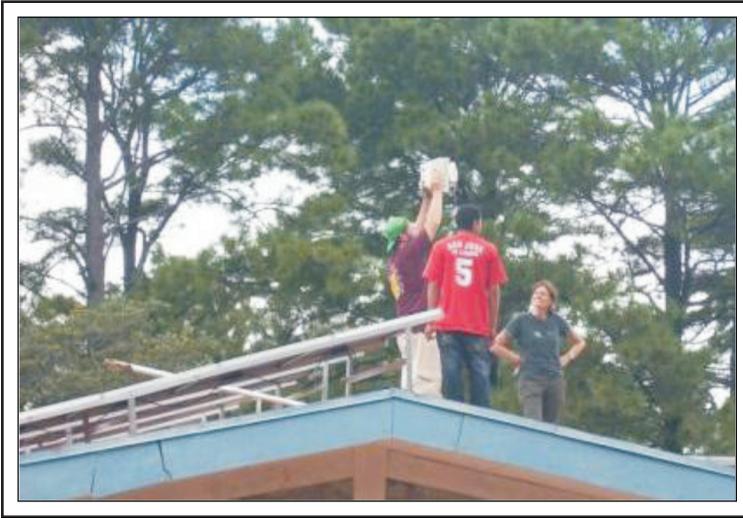


Gráfico 9. Instalación y capacitación sobre WiMAX-WiFi.

ponible. Las tareas de revisión condujeron a establecer un nuevo protocolo de comunicaciones que se realizará cada semana, lo cual facilitará la disponibilidad y el mantenimiento de los teléfonos móviles. Actualmente estamos en contacto constante con el CS para validar esta nueva medida.

## 6. Discusión, Conclusiones, y Futuras Investigaciones

Una vez resuelta la complejidad técnica, los principales desafíos para la incorporación del sistema en la rutina diaria del CS y de los PS se relacionan con su organización. El conocimiento adquirido permitió el diseño de la primera etapa del sistema y brindó muchos elementos para la resolución de los potenciales problemas de etapas posteriores. En este sentido, el apoyo brindado por la población local (el centro de salud, las comunidades rurales y el municipio) fue fundamental para la instalación del sistema. El apoyo regional de la Universidad Nacional Agraria de Managua resulta esencial para la resolución de problemas técnicos de mantenimiento a futuro.

Existen tres tecnologías que pueden ser útiles para replicar este tipo de soluciones en países en desarrollo: WiFi para largas distancias, el enlace híbrido WiMAX/WiFi, y el radio enlace a través de Walkie Talkie de 466 MHz. La decisión respecto de cuál es la mejor opción debería basarse principalmente en tres factores: la madurez de la estructura organizacional del área objetivo, la topología y la capacidad de inversión inicial en infraestructura.

La temporalidad del personal sanitario constituye un riesgo para la perdurabilidad de uso de esta tecnología. A fin de reducir este riesgo, proponemos la institucionalización del sistema mediante la creación e implementación de un protocolo que permita involucrar no solo a los agentes locales, sino también a los agentes regionales (SILAIS, Ministerio de Salud, etc.). De esta manera la tecnología instalada debe llegar a ser un componente básico que brinde apoyo a las actividades diarias relacionadas con el envío de información a la oficina regional de salud. Resulta extremadamente valioso optimizar el flujo de trabajo a fin de garantizar que la solución sea utilizada por el personal sanitario como parte de sus actividades diarias.

Si bien la transferencia de conocimientos y tecnologías se realizó junto a los técnicos y agentes de salud en Cusmapa, es importante comprometer al personal de salud en las oficinas regionales (SILAIS) a fin de prevenir futuras modificaciones del personal. Este proceso es posible llevarlo a cabo una vez que el piloto inicial alcance cierto grado de madurez. Es importante establecer estrategias *bottom-up* y *top-down* entre los agentes de salud, enfermeras, el Director del Centro de Salud y la autoridad regional (SILAIS) para desplegar el sistema de manera sostenible. La estrategia *bottom-up* brinda apoyo a las comunidades a través de la participación de los trabajadores rurales de salud. La estrategia *top-down* involucra a las autoridades regionales de salud con respecto a la adopción del sistema y proporciona las políticas y los recursos necesarios a fin de implementar y fomentar su uso. De esta forma, el servicio alcanza un alto nivel de madurez, lo cual resulta fundamental para que se produzca una transferencia adecuada de conocimientos y tecnología a los técnicos, al personal sanitario y los participantes regionales.

Si bien la transferencia de conocimientos y tecnologías se realizó junto a los técnicos y agentes de salud en Cusmapa, es importante comprometer al personal de salud en las oficinas regionales (SILAIS) a fin de prevenir futuras modificaciones del personal. Este proceso es posible llevarlo a cabo una vez que el piloto inicial alcance cierto grado de madurez. Es importante establecer estrategias *bottom-up* y *top-down* entre los agentes de salud, enfermeras, el Director del Centro de Salud y la autoridad regional (SILAIS) para desplegar el sistema de manera sostenible. La estrategia *bottom-up* brinda apoyo a las comunidades a través de la participación de los trabajadores rurales de salud. La estrategia *top-down* involucra a las autoridades regionales de salud con respecto a la adopción del sistema y proporciona las políticas y los recursos necesarios a fin de implementar y fomentar su uso. De esta forma, el servicio alcanza un alto nivel de madurez, lo cual resulta fundamental para que se produzca una transferencia adecuada de conocimientos y tecnología a los técnicos, al personal sanitario y los participantes regionales.

### 6.1 Lecciones aprendidas

Diversas lecciones del presente proyecto de investigación pueden aplicarse a futuras investigaciones y a decisiones relacionadas con el desarrollo y el des-

pliegue de soluciones de salud electrónica en los países en desarrollo.

- Problemas de suministro eléctrico: Las adversas condiciones meteorológicas de Cusmapa hicieron necesario el uso de un pararrayos en la cima de la torre y un sistema básico de puesta a tierra durante la instalación. A pesar de haber tomado dicha precaución, durante el primer año posterior al despliegue, algunos dispositivos de redes se dañaron debido a los rayos. Los daños se produjeron por un impacto por inducción y fue necesario instalar protectores contra rayos de gas ubicados en ambos extremos del cable. Los impactos de inducción son provocados cuando un rayo cae cerca de la torre; esta experiencia sugiere que los protectores deben ser conectados directamente al alambre de tierra instalado en la torre si este está en el extremo más alto (Flickenger, 2008). El extremo en la base debe también conectarse a una buena tierra, como una placa de tierra o una tubería metálica que esté llena de agua.
- *Gestión de fallos de la red*: Los fallos en las redes ocurrieron durante el primer año del despliegue debido a los cortes en el suministro eléctrico. El personal local carecía de la experiencia necesaria para reconfigurar los teléfonos celulares y reparar algunos fallos de los dispositivos de redes. Se precisó personal técnico capacitado para resolver dichos problemas. Por ello, recomendamos el desarrollo de una herramienta simple de autoconfiguración y gestión a fin de mejorar la autosuficiencia operativa de la red.
- *Alta rotación de personal*: Si bien en estas regiones resulta común que los directores médicos sean cambiados, ello genera problemas con la transferencia de la solución instalada, e incluso los manuales de usuario se tornan insuficientes. A fin de minimizar las consecuencias de la alta rotación de personal en el sistema administrativo, llegamos a un acuerdo con el departamento de cooperación externa de la Universidad Nacional Agraria, el cual se encargará de proporcionar asistencia técnica continua en San José de Cusmapa.

El sistema fue diseñado para que sea replicable y escalable. Tal como confirman la Universidad Nacional Agraria y el SILAIS, el sistema puede ser repli-

cado en otras regiones y, principalmente, en áreas rurales desatendidas. Hemos utilizado esta experiencia para desplegar un programa similar en Jocotán, Guatemala, que se estima será replicado en 2012, para evitar los problemas anteriormente mencionados. Los trabajos futuros están orientados en tres líneas de acción:

- La evaluación de la solución global en otras comunidades como las comunidades El Roble y el Apante en Cusmapa. Además en la comunidad La Mina, ubicada a más de 10 kilómetros del municipio de Jocotán en Guatemala.
- La adición de nuevas funcionalidades al sistema: Actualmente se está validando un sistema de bajo coste basado en tecnología móvil a fin de capturar datos sobre peso y talla de los niños de las áreas rurales y transmitirlos de manera remota al servidor del sistema de información. La medición, el registro y la interpretación de estos datos son esenciales para identificar problemas de desnutrición, que son críticos entre la población infantil de la región.
- Por último, la plataforma de comunicaciones puede ser extendida con el fin de apoyar servicios telemáticos como la tele-vigilancia epidemiológica. Este tipo de servicios es fundamental para mejorar la salud de la comunidad y para involucrar a otros grupos de cooperación que apoyen el sistema. ■

## Agradecimientos

Quisiéramos agradecer al centro de salud San José de Cusmapa (Dr. Jader Saborío, Rider Blandon y el personal de enfermería) y al municipio (el alcalde Néstor Maldonado y Francisca E. Espinoza), a la profesora Belén Benito, quien brindó apoyo al SIGS; y a Elea Solutions (Ing. Javier Expósito), Vodafone (José M. Azorín) y DIODE (Ing. Isidoro Sierra, Ing. Isabel Rodríguez e Ing. Antonio Trinidad), cuya ayuda fue fundamental para la implementación del proyecto. Agradecemos también el apoyo de los profesores Jaime Cervera e Ignacio Trueba, quienes impulsaron el proyecto desde sus comienzos. Esta investigación ha sido parcialmente financiada por el programa "Comunidades Rurales del Milenio" de la Universidad Politécnica de Madrid, España, en conjunto con la Universidad Nacional Agraria de Nicaragua. Por último, los autores quieren agradecer a los revisores anónimos por sus valiosas contribuciones.

## Bibliografía

- Assembly of the United Nations [Asamblea de Naciones Unidas]. Article 24 (1989). Disponible en [http://www.who.int/maternal\\_child\\_adolescent/documents/ecd\\_final\\_m30/en/index.html](http://www.who.int/maternal_child_adolescent/documents/ecd_final_m30/en/index.html)
- Chorbev, I., Mihajlov, M., & Jolevski, I. (2008, junio). *WiMAX supported telemedicine as part of an integrated system for e-medicine* [Telemedicina con soporte WiMAX como parte de un sistema integral para la medicina electrónica]. Presentación realizada en el 30.º Congreso Internacional sobre Interfaces de Tecnologías de la Información, 2008. Dubrovnik, Croacia.
- Dezhi, X., & Ganegoda, G. U. (2010, agosto). Framework of multi agent system to reduce malnutrition (MASRM) in children [Marco del sistema multiagencial para reducir la desnutrición infantil]. En IEEE (Ed.), *Third International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE)* [Tercer Congreso Internacional sobre Teoría e Ingeniería Informática de Avanzada], Piscataway, NJ (pp.V5-516-V5-519). Chengdu, China: IEEE.
- Flickenger, R. (2008). *Wireless networking in developing world* (2nd ed.) [Redes inalámbricas en el mundo en desarrollo (2.º ed.)]. Disponible en <http://wndw.net/pdf/wndw-en/wndw-ebook.pdf>
- Ibukunle, F. A., & John, S. N. (2008, enero). *WiMAX: Appropriate technology to provide affordable access to ICTs infrastructure and services in developing countries* [WiMAX: La tecnología adecuada para brindar un acceso asequible a la infraestructura y los servicios TIC en países en desarrollo]. Presentación realizada en el Congreso Internacional sobre Redes Inalámbricas, Móviles y Multimedia del Instituto de Ingeniería y Tecnología (IET), Mumbai, India.
- Instituto Nacional de Información de Desarrollo. (2005). *Caracterización sociodemográfica del Departamento de Madriz, datos del VIII censo de población y IV de vivienda*. Disponible en <http://www.inide.gob.ni/censos2005/MONOGRAFIASD/MADRIZ.pdf>
- International Communication Union Study Group-2 [Grupo de Estudio 2 de la Unión Internacional de Comunicaciones]. (2010). *Mobile eHealth solutions for developing countries* [Soluciones móviles de salud electrónica para países en desarrollo]. Final Report [Informe final]. Disponible en [http://www.itu.int/dms\\_pub/itu-d/opb/stg/D-STG-SG02.14.2-2010-PDF-E.pdf](http://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/stg/D-STG-SG02.14.2-2010-PDF-E.pdf)
- International Fund for Agricultural Development. (2011). *Rural poverty report 2011* [Informe sobre la pobreza rural 2011]. Disponible en <http://www.ifad.org/rpr2011/report/s/rpr2011.pdf>
- International Telecommunication Union (ITU). (2008). *Implementing e-Health in developing countries* [Implementación de la salud electrónica en países en desarrollo]. Draft [Borrador]. Disponible en [http://www.itu.int/ITU-D/cyb/app/docs/e-Health\\_prefinal\\_15092008.PDF](http://www.itu.int/ITU-D/cyb/app/docs/e-Health_prefinal_15092008.PDF)
- Kuriyan, R. (2008). How to use technology to spur development [Cómo utilizar la tecnología para alentar el desarrollo]. *Issues in Science and Technology* [Asuntos de Ciencia y Tecnología], 24, 70–74.
- Mostafa, R., Ehsanur Rahman, G. M. A., Hasan, G. M., Kabir, A., Rahman, A., & Ashik, S. (2010, julio). Proposed deployments to provide e-healthcare in Bangladesh: Urban and rural perspectives [Despliegues propuestos para brindar servicios de salud electrónicos en Bangladesh: Perspectivas urbanas y rurales]. Presentación realizada en el 12.º Congreso Internacional sobre Aplicaciones y Servicios de Redes de Salud Electrónica del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (Healthcom, pp. 361–366), Lyon, Francia.
- Naciones Unidas. (1989). *Convention on the rights of the child* [Convención sobre los derechos del niño]. Assembly of the United Nations [Asamblea de Naciones Unidas]. Article 24.
- Organización Mundial de la Salud. (2007). *Early child development: A powerful equalizer* [Desarrollo Infantil Temprano: Un potente nivelador]. Final Report [Informe Final].
- Organización Panamericana de la Salud. (2009). *Health systems profile in Nicaragua: Monitoring and analyzing health systems change/reform* [Perfil de los sistemas de salud en Nicaragua: Monitoreo y análisis de los cambios/las reformas de los sistemas de salud] (3ra. ed.). Washington, DC: Organización Panamericana de la Salud.

- Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas. (2011). *Informe sobre desarrollo humano 2011*. New York: UNDP.
- Su, Y., & Soar, J. (2010, mayo). Integration of VSAT with WiMAX technology for e-health in Chinese rural areas [Integración de redes VSAT con tecnología WiMAX para la salud electrónica en zonas rurales de China]. *2010 International Symposium on Computer Communication Control and Automation* [Simposio Internacional sobre Control y Automatización de las Comunicaciones Informáticas] (3CA), 1, 454–457, Tainan, Taiwan.
- Surana, S., Patra, R., Nedeveschi, S., & Brewer, E. (2008). Deploying a rural wireless telemedicine system: Experiences in sustainability [Despliegue de un sistema inalámbrico de telemedicina rural: Experiencias en sustentabilidad]. *Computer*, 41(6), 48–56.
- Trueba, I. (2006). *El fin del hambre en el 2025*. Madrid, España: Mundi-Prensa Libros.
- Vatsalan, D., Arunatileka, S., Chapman, K., Senaviratne, G., Sudahar, S., Wijetileka, D., et ál. (2010). Mobile technologies for enhancing eHealth solutions in developing countries [Tecnologías móviles para el fomento de soluciones de salud electrónica en países en desarrollo]. En *Second International Conference on eHealth, Telemedicine, and Social Medicine* [Segundo Congreso Internacional sobre Salud Electrónica, Telemedicina y Medicina Social], 2010. ETELEMED '10. St. Maarten, Antillas Holandesas.
- Vital Wave Consulting. (2009). *Health for development: The opportunity of mobile technology for healthcare in the developing world* [Salud para el desarrollo: Las posibilidades de la tecnología móvil para el cuidado de la salud en el mundo en desarrollo]. Washington, DC, y Berkshire, UK: Asociación de la Fundación de las Naciones Unidas y la Fundación Vodafone. Disponible en <http://www.vitalwaveconsulting.com/pdf/mHealth.pdf>

