

guifi.net, una infraestructura de red procomún gestionada de forma colectiva

Roger Baig, Ramon Roca^a, Felix Freitag, Leandro Navarro^b

^aFundación privada per a la Xarxa Oberta, Lliure i Neutral - guifi.net. Gurb, Catalunya
<http://fundacio.guifi.net>

^bGrupo de Sistemas Distribuidos - Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona
<http://dsg.ac.upc.edu>

Resumen

La expresión “red de comunicación gestionada de forma colectiva” se refiere a una infraestructura de red integrada por ciudadanos y organizaciones que ponen en común sus recursos y coordinan sus esfuerzos para crear estas redes. Las “redes comunitarias” son un subconjunto de redes construidas y gestionadas de forma colectiva que están organizadas para ser abiertas, libres y neutrales. En estas comunidades la infraestructura la contribuyen los participantes y se gestiona como un recurso en común. Muchas experiencias de construcción colectiva han prosperado en redes comunitarias. En este trabajo se analiza el caso de guifi.net, un caso de éxito de una red comunitaria utilizada diariamente por miles de participantes, centrándose en sus principios, los procesos de construcción colectiva y la herramientas desarrolladas dentro de la comunidad, el papel que desempeñan en el ecosistema de guifi.net; el estado actual de su aplicación; su impacto local medible y las lecciones aprendidas en más de una década.

Palabras clave: Redes comunitarias; Redes gestionadas de forma colectiva; sistemas de gobierno auto-organizados; auto-provisión; red procomún; recursos en común

1. Introducción

Ciudadanos y organizaciones ponen en común sus recursos y coordinan sus esfuerzos para construir entre todos infraestructuras de red. La cobertura de las zonas desatendidas y la lucha contra la brecha digital son los factores desencadenantes más frecuentes, pero otras motivaciones pueden ser el desarrollo de un nuevo modelo de telecomunicaciones o simplemente por el placer de montar una red. Las tecnologías empleadas varían considerablemente, desde routers WiFi de bajo coste, hasta equipos de fibra óptica (OF) algo más costosos [1].

Los modelos de participación, organización y financiación son muy diversos. Por ejemplo, algunas redes son de libre acceso, otras son cooperativas, algunas están dirigidas por federaciones de microISPs, etc. Algunos ejemplos a continuación¹. Banda ancha para el Norte Rural (B4RN) en Lancashire, Reino Unido, y el Proyecto de Redes inalámbricas en Nepal (NWNP) son redes construidas en respuesta a la falta de cobertura de los operadores convencionales. B4RN despliega y opera fibra óptica de forma cooperativa. NWNP [2] es una empresa social que proporciona acceso a Internet, comercio electrónico, educación, telemedicina, servicios medio ambientales y agrícolas a una serie de aldeas remotas, utilizando tecnologías inalámbricas. La

Email addresses: {roger.baig, ramon.roca}@guifi.net (Roger Baig, Ramon Roca), {felix, leandro}@ac.upc.edu (Felix Freitag, Leandro Navarro)

¹BARN: <http://b4rn.org.uk/>, NWNP: <http://www.nepalwireless.net/>, FFDN: <http://www.ffdn.org/en>, HSLnet: <http://www.hslnet.nl/>



Federación Francesa de Redes de Datos (FFDN) es una federación de pequeños ISPs locales franceses que incluye revendedores de DSL, redes inalámbricas, centros de colocación de servidores y similares. HSLnet es una de las muchas cooperativas de redes de fibra óptica en los Países Bajos.

Las redes comunitarias (RC) son un subconjunto de las redes construidas y gestionadas de forma colectiva que se caracterizan por ser abiertas, libres y neutrales. Son abiertas porque todo el mundo tiene el derecho a conocer la forma en que se construyen. Son libres ya que el acceso a la red está impulsado por un principio de no discriminación, por lo que son universales. Finalmente son neutrales porque cualquier solución técnica disponible se puede emplear para ampliar la red, y porque la red se puede utilizar para transmitir datos de cualquier tipo por cualquier participante, incluyendo también fines comerciales.

Ejemplos representativos son² son Freifunk (FF) en Alemania, la Red Comunitaria Metropolitana Inalámbrica de Atenas (AWMN) en la región Ática en Grecia, FunkFeuer (0xFF) en Austria y Ninux.org en Italia, todas ellas con miles de enlaces, la mayoría inalámbricos³, pero integrando gradualmente fibra óptica y enlaces inalámbricos ópticos.

Aunque las RCs ya se han estudiado desde varias perspectivas [3] [4], todavía no hay una comprensión clara de las prácticas y metodologías que han dado lugar a este tipo de sistemas colaborativos complejos. En este trabajo se aborda esta carencia mediante el análisis de guifi.net⁴ [5] [6], la RC más grande.

En 2004, guifi.net comenzó como un grupo de personas que se reunían regularmente para planificar y desplegar la red. Este grupo buscaba formas de crear infraestructura de red entre aficionados en zonas rurales remotas, zonas ignoradas o desatendidas por los ISP convencionales, aprovechando un espectro radioeléctrico de uso sin licencia, software libre y dispositivos Wi-Fi de bajo coste. Junto con la expansión de la red, los participantes también discutieron formas de estructurar esta comunidad que crecía de forma tan rápida. Llevar la red a nuevas ubicaciones requiere coordinación para planificar los enlaces, para configurar el hardware, para alinear las antenas, etc. Además, nuevas tareas como el diseño de redes, la coordinación del enrutamiento, y la asignación de direcciones se volvieron cada vez más importantes a causa del crecimiento de la red y de la comunidad. Estas tareas han dado lugar a muchas herramientas que se han desarrollado específicamente para guifi.net y que utiliza la comunidad de guifi.net.

En este trabajo se describen los principios fundamentales de guifi.net, y cómo su aplicación resulta en un bien colectivo, la infraestructura de red, que se construye de forma colectiva con las contribuciones de muchos participantes, y gobernada como un recurso procomún⁵.

Identificamos y analizamos lo más relevante de estas herramientas y discutimos su impacto en la expansión de guifi.net. Como resultado de nuestras investigaciones, creemos firmemente que guifi.net ha hecho contribuciones muy importantes, no sólo para la formalización del concepto de RC en sí mismo, sino también en el desarrollo y la aplicación de herramientas sociales y técnicas eficaces para hacer que las RCs sean sostenibles y escalables. Estas herramientas están en constante evolución para mejorar la puesta en práctica del modelo de bienes en común o “procomún”.

El resto de este documento se estructura como sigue. La Sección 2 presenta los principios subyacentes de guifi.net que estructuran la participación y el uso de la red, y discute su papel en un proceso de producción social que se traduce en un bien colectivo que se gestiona como un recurso en común. La Sección 3 estudia los participantes involucrados y presenta la arquitectura de los mecanismos de gobierno. La Sección 4 introduce las herramientas y estrategias desarrolladas para implementar estos principios, como por ejemplo herramientas de software para compartir información, para la comunicación entre grupos, coordinar contribuciones, para supervisar y regular la comunidad, estipular los convenios de colaboración, resolver conflictos, y compensar desequilibrios. La Sección 5 presenta los resultados alcanzados en cuanto a la infraestructura en común, la interconexión con otras redes, la comunidad de participantes, el marco institucional y el impacto medible en zonas con fuerte desarrollo de infraestructura. En la Sección 6 analizamos y discutimos los resultados. La Sección 7 analiza la correspondencia con los modelos académicos de CPR. La Sección 8 presenta

²FF: <http://freifunk.net/>, AWMN: <http://www.awmn.net/>, 0xFF: <http://www.funkfeuer.at/>

³El término *inalámbrico* era ampliamente utilizado para referirse a este tipo de comunidad, con el nombre habitual de redes comunitarias inalámbricas. Sin embargo, actualmente se prefiere evitar este término para ser agnóstico respecto a opciones tecnológicas.

⁴<http://guifi.net>

⁵Common-pool Resource (CPR) en inglés: https://es.wikipedia.org/wiki/Recursos_comunes

lecciones aprendidas que se pueden generalizar. En la Sección 9 se comentan posibles direcciones futuras. Finalmente, se presentan las conclusiones en la Sección 10.

Las redes de ordenadores se denominan en lo sucesivo como *redes* y las infraestructuras de red como *infraestructuras*.

2. Principios

Los principios fundamentales de guifi.net, definidos desde un principio para ser totalmente incluyente, giran en torno a i) la apertura de acceso (uso) de la infraestructura, y ii) la apertura de participación (construcción, operación, gestión) en el desarrollo de la infraestructura y su comunidad.

Acceso abierto y no-discriminatorio. El acceso es no discriminatorio porque los precios se determinan en términos de costes (en lugar de orientado a la demanda y mercado) bajo el principio de comercio justo para valorar el coste del trabajo. Es abierto porque cualquier persona tiene derecho a unirse a la infraestructura.

Participación abierta. Cualquiera tiene el derecho a unirse a la comunidad. De acuerdo a su papel e intereses, se pueden identificar cuatro grupos principales: i) los voluntarios, interesados en aspectos como la neutralidad, la independencia, la creatividad, la innovación, el bricolaje, y la protección de los derechos de los consumidores; ii) los profesionales, interesados en aspectos como la demanda, la oferta de servicios, y la estabilidad de funcionamiento; iii) los clientes, interesados en el acceso a la red y el consumo de servicios; y iv) las administraciones públicas, interesadas en la gestión de atribuciones y obligaciones específicas para regular la participación social, el uso del espacio público, e incluso en la satisfacción de sus propias necesidades de telecomunicación. Se debe conservar un cierto equilibrio entre estos cuatro grupos, ya que cada grupo tiene atribuciones naturales que no deben delegarse o ser llevadas a cabo por cualquier otro grupo.

Estos principios fundamentales aplicados a una infraestructura dan como resultado una red que es un *bien colectivo, producida socialmente*, y gobernada como un *recurso procomún (CPR)*.

La red es un *bien colectivo* o una propiedad colaborativa (entre pares) en el que los participantes aportan sus esfuerzos y contribuyen bienes (routers, enlaces, y servidores) que se comparten para construir una red de ordenadores, que unida por varios protocolos de Internet dan como resultado una propiedad colaborativa, siempre que las reglas de la comunidad, la licencia de la comunidad, sean respetadas por todos los participantes.

El desarrollo de una RC es una *producción social* o una producción colaborativa porque los participantes trabajan de forma cooperativa, a escala local, para desplegar una infraestructura y construir islas de red, y a escala global para compartir conocimientos y coordinar acciones para aseguren la interoperabilidad de la infraestructura desplegada a escala local.

Se sigue el modelo de *recurso colectivo en común (CPR)* para mantener y gobernar la red. Los participantes deben aceptar las reglas para unirse a la red y deben contribuir la infraestructura necesaria para hacerlo, aunque mantienen la propiedad de los dispositivos que han contribuido y el derecho a retirarse.

Algunos de los beneficios esperados del cambio de paradigma, que se derivan de los principios definidos previamente, son:

- Desaparición de la multiplicidad de infraestructura porque todos los participantes operan en la misma de forma cooperativa. El CPR define los medios para reducir el coste de transacción de compartir, promocionando esta práctica.
- Aumento de la eficiencia de la infraestructura, como consecuencia del punto anterior.
- Ahorro de costes, incluyendo ahorro ambiental, como consecuencia del primer punto. Este ahorro es el resultado de la agregación y compartición de recursos. Se puede obtener capacidad adicional a un coste marginal de la capacidad necesaria, gracias a la compartición, menor que el coste de desplegar infraestructura adicional. Este modelo cooperativo permite que nuevos participantes, pequeños y locales, puedan desarrollarse con facilidad dada la reducción de los costes e inversiones iniciales para arrancar nuevas infraestructuras y nuevos servicios.

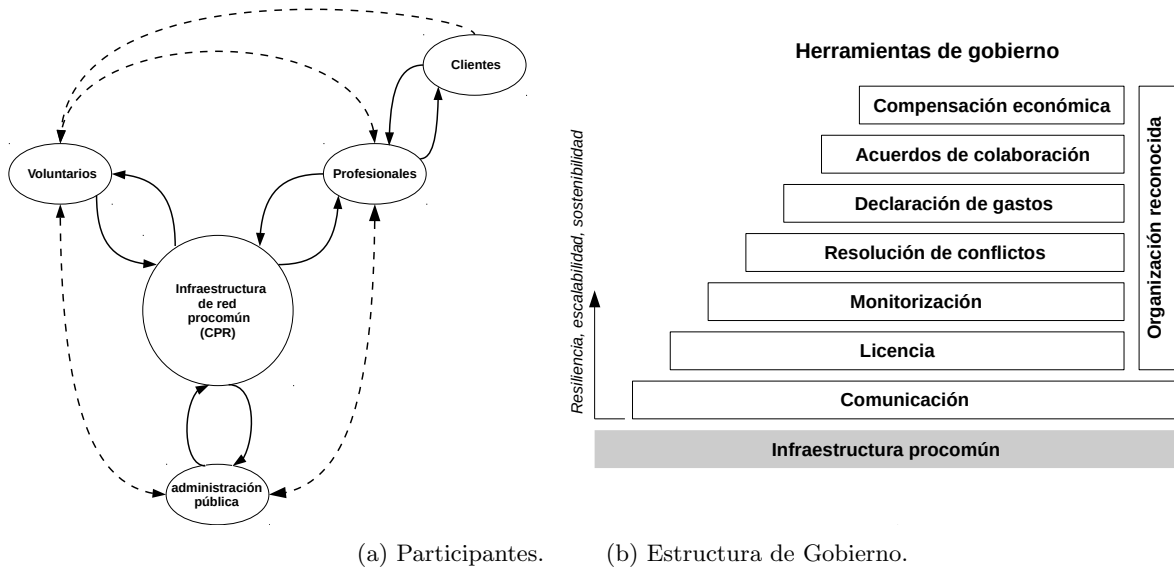


Figure 1: Participantes y estructura de gobierno.

- Ahorro en el coste de acceso, no sólo por el primer punto, sino también porque los precios se orientan a costes (orientado a comercio justo). Eso tiene repercusiones económicas positivas a favor de los servicios digitales y más oportunidades para el desarrollo económico local como consecuencia de la reducción de barreras de acceso y uso para más población.
- La participación y apoyo de los ciudadanos para llevar la red a donde sea necesaria, teniendo en cuenta la reducción de costos, complejidad, riesgo y conocimiento necesario para ampliar la red, rompiendo la dependencia con los planes de despliegue de ISPs.
- Universalización del acceso a la infraestructura, como consecuencia de los dos puntos anteriores.
- Creación del marco necesario para un verdadero mercado de libre competencia de servicios.

3. Participantes y Estructura de Gobierno

No obstante, como cualquier otro CPR, las RCs son frágiles. Más concretamente, son propensas a la congestión, ya que la conectividad es rival, y sujeta al problema de abuso, porque las RC son intencionalmente no excluyentes. Por lo tanto, se necesitan instrumentos de gobierno eficaces y efectivos para proteger el recurso principal de su agotamiento, es decir, para protegerlo de la *Tragedia de los comunes* [7].

Para construir una arquitectura de gobierno eficaz, es esencial identificar claramente los tipos de participantes según sus intereses, tareas específicas, y los posibles conflictos de interés. Como se muestra en la figura 1a, hay cuatro tipos principales de participantes. Los *voluntarios*, iniciadores del proyecto, que debido a su falta de intereses económicos son responsables de la operación de las herramientas y de los mecanismos de gobierno y supervisión. Los *profesionales* que proporcionan calidad de servicio, y sus *clientes* que aportan los recursos que hacen económicamente sostenible el ecosistema. Las *administraciones públicas* son responsables de la regulación de las interacciones entre el despliegue y la operación de la red y los bienes públicos, tales como la ocupación de dominio público. Todos los participantes que extraen conectividad deben contribuir con infraestructura, directa o indirectamente, y pueden participar en el proceso de creación de conocimiento.

La Figura 1b representa la estructura de los herramientas de gobierno. Unos medios de *comunicación* eficaces son esenciales para cualquier proyecto de producción entre iguales. La *licencia* establece el marco de participación y establece los límites del CPR. El marco de participación debe ser lo suficientemente

flexible como para permitir que los mecanismos de auto-sostenibilidad, como la actividad económica, pero al mismo tiempo debe salvaguardar la esencia del proyecto. El sistema de *monitorización* es esencial para el funcionamiento de la red (tratar congestión, fallos, etc.) y para contabilizar el uso de recursos. Un claro *sistema de resolución de conflictos* evita la arbitrariedad y reduce el número de conflictos. A través del mecanismo de *declaración de gastos* los participantes indican los recursos que han contribuido que se deben tener en cuenta. El sistema de *convenios de colaboración* regula el uso con ánimo de lucro de los recursos. El sistema de *compensación económica* equilibra las contribuciones que han sido contabilizadas y el uso de recursos de los participantes con fines de lucro. Por último, se necesita una organización con autoridad reconocida por todos los participantes para operar las herramientas y mecanismos antes mencionados.

4. Implementación

En esta sección se explica cómo la arquitectura de gobierno presentada en la Sección 3 se implementa como herramientas en guifi.net.

4.1. Herramientas de comunicación

Debido a su naturaleza técnica de la comunidad, todo tipo de herramientas de colaboración han surgido en guifi.net. Como era de esperar, casi todas ellas son programas libres y están alojados en los servidores de la comunidad. Los siguientes son los más significativos.

Sitio web. Es la principal herramienta de participación y coordinación. Integra todas las herramientas de software descritas anteriormente, proporcionando una plataforma completa para diseñar, implementar y operar RCs.

Listas de correo. El método de comunicación preferido para la discusión son las listas de correo⁶, que pueden ser globales, territoriales o temáticas. Están abiertas por defecto⁷.

Redes sociales. Una plataforma social⁸ almacena documentación y maneja discusiones. Los grupos de trabajo son públicos por defecto, pero hay también grupos cerrados para proteger información sensible.

Reuniones cara a cara. Las reuniones cara a cara juegan un papel muy específico en el fortalecimiento de relaciones sociales, normalmente semanales o mensuales. En estas reuniones los participantes trabajan en sus proyectos y ayudan a los recién llegados a unirse al grupo y a la red. Las reuniones globales de la comunidad de guifi.net son generalmente anuales, itinerantes y organizadas por un grupo local diferente cada vez. A los eventos internacionales de RCs más relevantes típicamente asisten al menos uno o dos miembros de guifi.net.

4.2. Marco de participación

Las siguientes herramientas desarrollan el marco legal de participación en la red.

Licencia del Procomún de la Red (LPR). La licencia se denomina *Procomún de la Red Abierta, Libre y Neutral “RALN”*⁹ y es la licencia a la que cualquier participante en guifi.net debe aceptar. En

⁶<https://l1istes.guifi.net/sympa/>

⁷Sólo se aceptan listas de correo cerradas en situaciones muy justificadas.

⁸<http://social.guifi.net/>

⁹<https://guifi.net/es/ProcomunXOLN>, o Comuns XOLN en Catalán <https://guifi.net/ComunsXOLN>. El preámbulo de la RALN Compact es:

- *Eres libre de utilizar la red para cualquier propósito mientras no perjudiques el funcionamiento de la propia red, la libertad de otros usuarios, y respetes las condiciones de los contenidos y servicios que circulan libremente.*
- *Eres libre de conocer como es la red, sus componentes y su funcionamiento, también puedes difundir su espíritu y funcionamiento libremente.*
- *Eres libre para incorporar servicios y contenidos a la red con las condiciones que quieras.*
- *Eres libre de incorporarte a la red y ayudar a extender estas libertades y condiciones.*

ella se establecen los principios fundamentales y los artículos establecen con precisión los derechos y obligaciones de los participantes. Está escrita para ser aplicable en el marco de la legislación española. La seguridad jurídica es esencial para estimular la participación y la inversión, que a su vez, es la base de cualquier actividad económica. La licencia se ha desarrollado como parte de un largo proceso de deliberación participativa durante varios años, con contribuciones de muchos miembros de la comunidad, llegando a un consenso, revisada y aprobada en varias versiones de la Junta Directiva de la Fundación. La versión inicial¹⁰ es de enero de 2005.

La Fundación guifi.net. La *Fundació Privada per a la Xarxa, Lliure i Neutral guifi.net* fue creada por la comunidad guifi.net para dar una identidad legal al proyecto guifi.net. Su misión fundamental es proteger y promover las redes procomún como guifi.net. Para proteger la red, mantiene la LPR e impone su cumplimiento si es necesario. Las actividades de promoción incluyen el desarrollo de proyectos estratégicos e innovadores, la operación de zonas críticas de la infraestructura, las tareas de difusión, etc. La Fundación cuenta con un conjunto de herramientas (como el espacio de direcciones IP, la identidad legal, la posibilidad de operar bajo su nombre) a disposición de cualquier persona que quiera contribuir a ampliar la red, profesionales incluidos. También realiza muchas actividades de difusión. La Fundación está integrada por el Consejo de Administración (no remunerado) y los trabajadores. Está financiado por los servicios que presta a los profesionales, como las actividades que llevan a cabo en el Centro de Operación de Redes (NOC) y la operación del sistema de compensación económica, y de los proyectos específicos en los que se puede participar (por ejemplo, proyectos de investigación y actividades de consultoría). La Fundación desempeña un papel vital en la coordinación y gestión del ecosistema de guifi.net. Sin embargo, su poder es bastante limitado, ya que, al igual que el resto de los participantes, sólo es dueña de la parte de infraestructura que ha contribuido, y todas sus acciones están restringidas a su misión fundacional de coordinación y arbitraje. Por lo tanto, su autoridad se basa principalmente en su reputación.

Convenios de colaboración. Son un conjunto de plantillas estandarizadas basadas en la experiencia de muchos convenios específicos a lo largo de los años. El número de acuerdos específicos justificó el proceso de estandarización, que la Fundación ha guiado. La Fundación es siempre una de las entidades firmantes. De esta manera se construye una red de confianza con la Fundación en su centro. Los acuerdos tienen la misión de otorgar el compromiso de las partes a la LPR, mejorando y fortaleciendo el marco legal establecido por la licencia.

Los profesionales pueden elegir entre tres opciones¹¹ en función de su nivel de compromiso con el procomún. El *Tipo A, pleno compromiso*, el preferido por la Fundación, implica que toda la infraestructura desplegada por un profesional se destina al procomún; *tipo B, compromiso parcial*, es para aquellos profesionales que sólo contribuyen parcialmente al procomún; *tipo C, oportunista*, es para el profesional que no aporta ninguna infraestructura para el procomún (es decir, que utiliza lo que está disponible, pero no contribuye en absoluto). El acuerdo implica la aceptación de un conjunto de Acuerdos de Nivel de Servicio (SLA) que organiza la coexistencia entre profesionales. No se aceptan acuerdos personalizados.

Las Administraciones Públicas tienen una única plantilla. A pesar de que a menudo pretenden modificarla, es importante mantener los textos lo más próximos al modelo en aras de la homogeneidad. El texto estándar está dirigido a i) aliviar las limitaciones legales de las Administraciones Públicas a la hora de participar en las actividades de telecomunicación, así como evitar ciertas responsabilidades, que quedan fuera del alcance de sus tareas normales, sobre todo para las administraciones pequeñas y medianas¹², y ii) organizar cómo ponen sus recursos públicos a disposición de la RC, y por lo tanto a

¹⁰<http://guifi.net/ca/ComunsSensefils>

¹¹(Catalán) <http://social.guifi.net/groups/guifi-coord/conveni-dactivitats-econ%C3%B2miques-instal%C2%B7lacions-connectivitat-i-manteniments-en-la>.

¹²En la Unión Europea, así como en la mayoría de los países occidentales, las telecomunicaciones son un servicio público que debe ser proporcionado por el sector privado. En este contexto, el margen de maniobra de las administraciones públicas

todos los proveedores de Internet (por ejemplo, los que no quieren contribuir a la RC tienen acceso a estos recursos a través del tipo C del conjunto de acuerdos para profesionales).

Por último, algunos acuerdos están en marcha con otras entidades como universidades u ONGs. Debido al reducido número y heterogeneidad de los casos, estos aún no se han estandarizado.

4.3. Herramientas de Gestión y Construcción de la Red

La comunidad de guifi.net ha desarrollado un conjunto de herramientas informáticas¹³ para facilitar el diseño, implementación, administración y operación de la red. Las herramientas están orientadas a dar soporte a la auto-provisión de red y apoyar los esfuerzos de construcción colectiva de la infraestructura por los miembros de la comunidad, dada la interdependencia entre la red social y la red de comunicaciones. La mayoría de ellas están integradas en la página web de guifi.net¹⁴. Todas las herramientas se han desarrollado siguiendo el modelo de programas libres utilizando una plataforma pública de desarrollo colaborativo¹⁵ y están a disposición del público bajo la Licencia Pública GNU¹⁶. La automatización es esencial para reducir la curva de aprendizaje para participar y evitar errores humanos. También es clave disponer de conjuntos de datos abiertos que sean consistentes y detallados para que la red se pueda desplegar en el territorio.

Mapa de red¹⁷ La planificación de la red requiere mapas y varias herramientas para calcular distancias y líneas de visión, seleccionar los nodos vecinos, contactar con las personas a cargo, etc. Esta herramienta combina mapas geográficos con mapas de la red para recopilar y compartir todo el conocimiento acerca de la red y los participantes involucrados en ella.

Asignación de direcciones IP y configuración de enrutamiento¹⁸ Esta es una herramienta de soporte que gestiona la asignación de direcciones IPs y la configuración del enrutamiento. Estos procedimientos están completamente automatizados. La información resultante se almacena en la base de datos principal.

unsolclic¹⁹ La configuración de todos los routers está totalmente automatizada. La interacción humana se ha reducido a *copiar y pegar* o *registrar* el sistema operativo. Esto ayuda a evitar errores de configuración que pueden crear conflictos en la red y facilita el proceso de configuración de nodos, que a su vez promueve una mayor participación.

Community Network Markup Language (CNML)²⁰ El CNML es una especificación XML desarrollada en guifi.net que presenta la información de la base de datos de guifi.net. Todas las interacciones se deben hacer a través de ésta representación.

Monitorización de la red²¹ Se ha desarrollado y puesto en marcha un sistema de monitorización de red totalmente distribuido. Ha sido clave para ayudar a la comunidad a visualizar el uso e identificar problemas o cuellos de botella.

Financiación colectiva de la red²² Desde muy al principio del desarrollo, se creó una herramienta para coordinar la recogida de contribuciones económicas voluntarias para financiar nodos o enlaces nuevos o actualizarlos que pudieran beneficiarse directa o indirectamente a varios usuarios. La herramienta permite la creación de una propuesta con un plan detallado que incluye una descripción del proyecto, su coste y una fecha límite para contribuciones. Si el presupuesto objetivo se cumple dentro del plazo, el iniciador recogerá el dinero y pondrá en marcha la acción. Este mecanismo ha demostrado ser muy exitoso para compartir entre la comunidad los costes de actualizar enlaces con limitaciones o añadir nuevos nodos que beneficien a varios ciudadanos.

se limita a acciones muy específicas (auto-provisión, áreas no servidas, etc.) y bajo condiciones muy especiales (contabilidad separada, auto-financiada, etc.)

¹³El sitio web de guifi.net utiliza el CMS de Drupal y la base de datos MySQL. Todas las herramientas desarrolladas son módulos de Drupal.

¹⁴<https://guifi.net/es/guifi/menu>

¹⁵<https://gitorious.org/guifi>

¹⁶<http://serveis.guifi.net/debian>

Declaración de gastos²³ Esta herramienta permite la declaración de gastos y el seguimiento y análisis de los anteriores. Se ha desarrollado como parte del sistema de compensación económica (descrito en 4.4). Distingue entre las contribuciones hechas por profesionales de las realizadas por voluntarios, así como su información. Se desarrolló a partir de la constatación de que los profesionales no invertían en la infraestructura, que sólo consumían con la excusa de no sufrir abusos de sus inversiones por otros. Esta herramienta registra cualquier gasto, como la inversión en la capacidad o el mantenimiento, para que los participantes tengan un entorno equitativo que contabilice, promueva, recompense y cree certidumbre para promover una compensación justa y proporcional en términos de acceso a los recursos de acuerdo a la inversión cooperativa a largo plazo en la infraestructura entre todos los participantes. Eso se traduce en un crecimiento sostenible de la infraestructura y que evita el abuso.

4.4. Herramientas de Gobierno

Estas son las herramientas socio-económicas que el proyecto ha desarrollado para mantener operativa la infraestructura y el proyecto en sí. La Fundación es responsable de mantener estas herramientas en funcionamiento.

Sistema de resolución de conflictos. Se ha desarrollado un procedimiento sistemático y claro para la resolución de conflictos con una escala gradual de sanciones²⁴. Está compuesta por tres etapas: conciliación, mediación y arbitraje, todas ellas guiadas por un abogado elegido entre un grupo de voluntarios. El coste de los procedimientos se carga a la parte responsable o a ambas partes en caso de empate. Este sistema se desarrolló a partir de la experiencia y se ha definido de manera precisa para ayudar a hacer frente a estos conflictos de una manera rápida y estándar, con la ayuda de abogados, y escalable para una comunidad en crecimiento. Se desarrolló en un momento en que las discusiones entre algunos participantes amenazaron todo el proyecto. La Fundación tuvo que tomar un papel de liderazgo en su desarrollo y aplicación.

Sistema de compensación económica. El sistema de compensación económica se ha desarrollado y aplicado para compensar los desequilibrios entre la inversión en la infraestructura procomún y el uso de la red por los profesionales. Los gastos declarados por los profesionales se compensan periódicamente según el uso de la red. La Fundación realiza los cálculos y se ponen a disposición de los profesionales. La Fundación centraliza y gestiona el sistema de facturación (cada profesional hace o recibe un pago único). Un ingreso típico de la Fundación es un porcentaje, en función de cada tipo de profesional, que se carga al resultado de estos cálculos²⁵. Además, los profesionales pueden cobrar una cantidad razonable por conexiones oportunistas²⁶ hasta que sus inversiones estén cubiertas. El sistema de compensación económica también proporciona mecanismos para compensar a aquellos que, habiendo contribuido infraestructura, quieren retirarse de la infraestructura procomún.

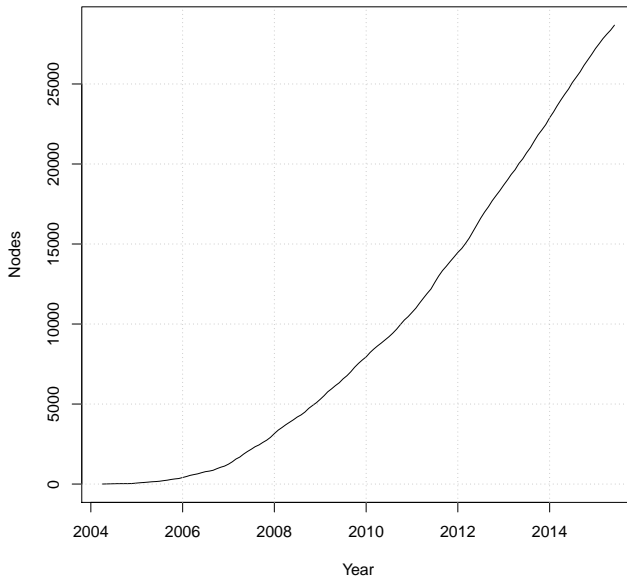
5. Resultados

En esta sección se presentan los resultados más relevantes del proyecto guifi.net. En primer lugar se analiza la infraestructura de red procomún. Sus parámetros físicos se pueden cuantificar gracias a la base de datos y la información en su sitio web. Sin embargo, los costes se deben estimar porque la herramienta de software para informar de los gastos se ha establecido recientemente. Continúa una descripción de la interconexión a otras infraestructuras de red. En este caso, los costes se pueden establecer con mayor precisión ya que la información sobre la mayoría de ellos se comparte entre la Fundación y los operadores. En cuanto a participación, los datos que se presentan son más bien cualitativos, ya que, debido a la apertura del proyecto, sólo se pueden cuantificar indicadores indirectos. La descripción del impacto del proyecto se basa en información de terceros.

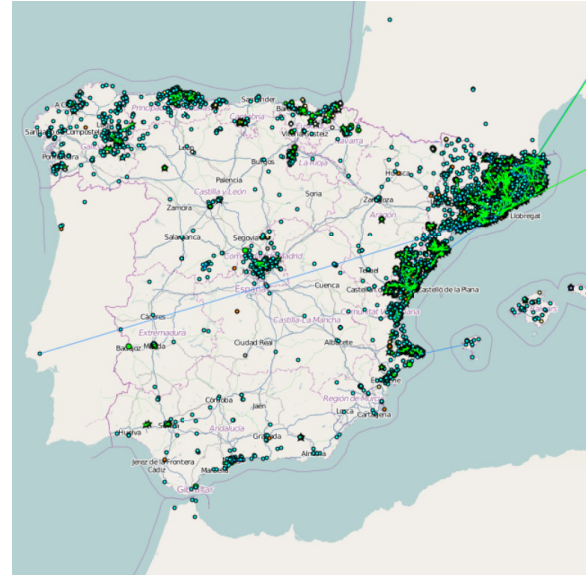
²⁴<http://social.guifi.net/groups/guifi-legal/reglament-dels-procediments-de-resoluci%C3%B3-de-conflictes>

²⁵Tipo A 10% (para cubrir gastos administrativos), Tipo B 50% y Tipo C 100%.

²⁶Un nodo cliente que se conecta de forma amateur a un supernodo que ha pagado un profesional.



(a) Número total number de nodos operativos.



(b) Despliegue de guifi.net (Junio de 2015).

Figure 2: Resumen de guifi.net

5.1. La infraestructura en Común

Actualmente, a nivel físico guifi.net combina varias tecnologías: radio y fibra óptica son las más comunes. Debido a lo asequible, accesible y fácil de desplegar, la WiFi fue la primera tecnología que se utilizó y sigue siendo la más popular, hasta el punto que se considera totalmente integrada en el ecosistema (es decir, que es totalmente compatible con las herramientas de la web y su uso está muy extendido entre profesionales y voluntarios). Los nodos iniciales de guifi.net ya se habían desplegado en 2004. La Figura 2a representa la evolución del total de nodos operativos a lo largo del tiempo. La fibra óptica se introdujo²⁷ por primera vez en 2009.

En Junio de 2015, guifi.net tiene un total de 44.824 nodos, 28.675 de ellos declarados como operativos, lo que representa 32.672 enlaces WiFi (29.946 AP-Cliente y 2726 punto-a-punto) y corresponde a una longitud total de 52.443 kilómetros. La mayoría de los nodos, 44.432 del total, se encuentran en España. La Figura 2b muestra su distribución en el mapa. La Figura 3 muestra dos casos de implantación local (vistas generales en la parte superior y vistas detalladas en la parte inferior).

En cuanto a la fibra óptica, debido al hecho de que el registro de este tipo de enlace todavía no está en producción²⁸, por el momento los números sólo se pueden estimar por medios alternativos. Calculamos alrededor de 100 enlaces²⁹.

Topológicamente hablando, las redes Wi-Fi y de fibra óptica son bastante similares [6]. En los dos casos los *nodos* de usuarios finales se conectan a un punto central (los *supernodos* en WiFi y el *PoPIX* –Point-of-Presence Internet Exchange– en fibra óptica)³⁰, y los supernodos se conectan entre sí a través de enlaces

²⁷<http://guifi.net/node/23273>

²⁸Esta funcionalidad, que implicó el rediseño y una cantidad significativa de código nuevo, se desarrolló en el verano de 2014 y se espera que esté en producción en 2015. La gran cantidad de enlaces ópticos ya desplegados requerirá tiempo adicional para registrar todos estos datos.

²⁹Esta estimación se ha realizado a partir de la información aportada por cada ISP y comparando respuestas con la cantidad de tránsito y la cantidad de direcciones IP asignadas.

³⁰En WiFi el *modo de infraestructura* (es decir, la combinación de modo maestro-cliente para conexiones entre nodo y supernodo y enlaces Punto-a-Punto -PtP- dedicados entre supernodos) ha demostrado ser mucho más eficiente que las soluciones basadas en el modo Ad-Hoc de IEEE 802.11. Sin embargo, algunas partes de la red operan en modo Ad-Hoc.

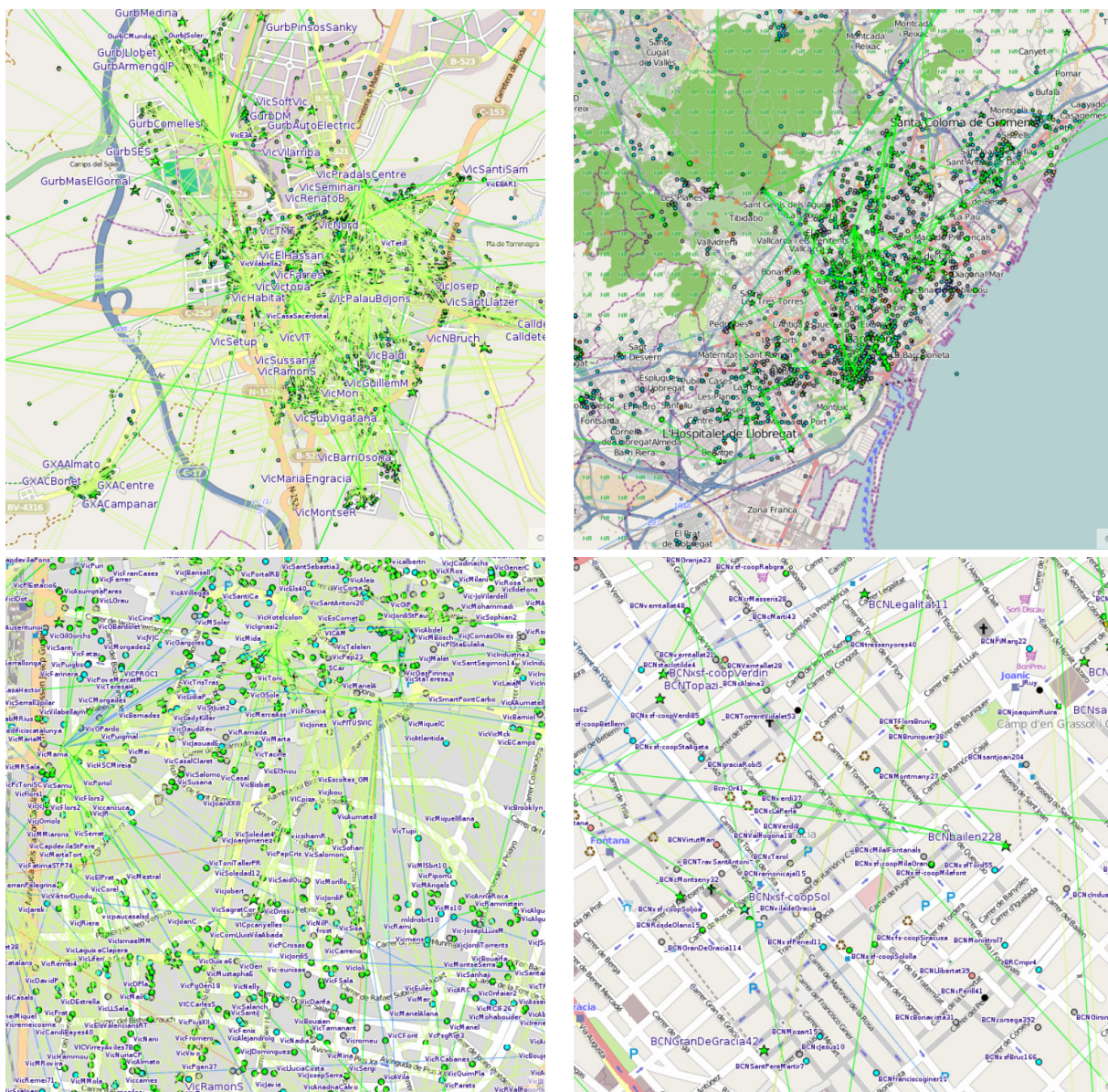


Figure 3: Mapas de guifi.net (Junio de 2015). Ciudades. Izquierda: Vic. Derecha: Barcelona. Superior: general. Inferior: detallada.

dedicados que forman la dorsal de la red. En WiFi prácticamente todos los enlaces los han desplegado miembros de guifi.net. Por el contrario, en fibra óptica la mayoría de despliegues de enlaces punto-a-punto son fibras oscuras subcontratadas³¹. La Figura 4 muestra la distribución actual de los PoPIX operativos (15 en total). En las zonas en las que las dos tecnologías coexisten, los enlaces de fibra óptica están sustituyendo a los de WiFi en la dorsal, y éstos están formando una red intermedia, lo que resulta en una topología más eficaz³². El sistema de compensación económica se aplica a nivel de PoPIX. La métrica utilizada para cuantificar el uso de la red es el porcentaje de la agregación total del tráfico entrante y saliente a redes que

³¹Hasta ahora todo al proveedor de fibra oscura nacional catalán <http://www.xarxaoberta.cat/about/xoc>

³²Un grafo de menor diámetro, corrigiendo la situación anormal de una red dorsal con varias decenas de saltos WiFi.

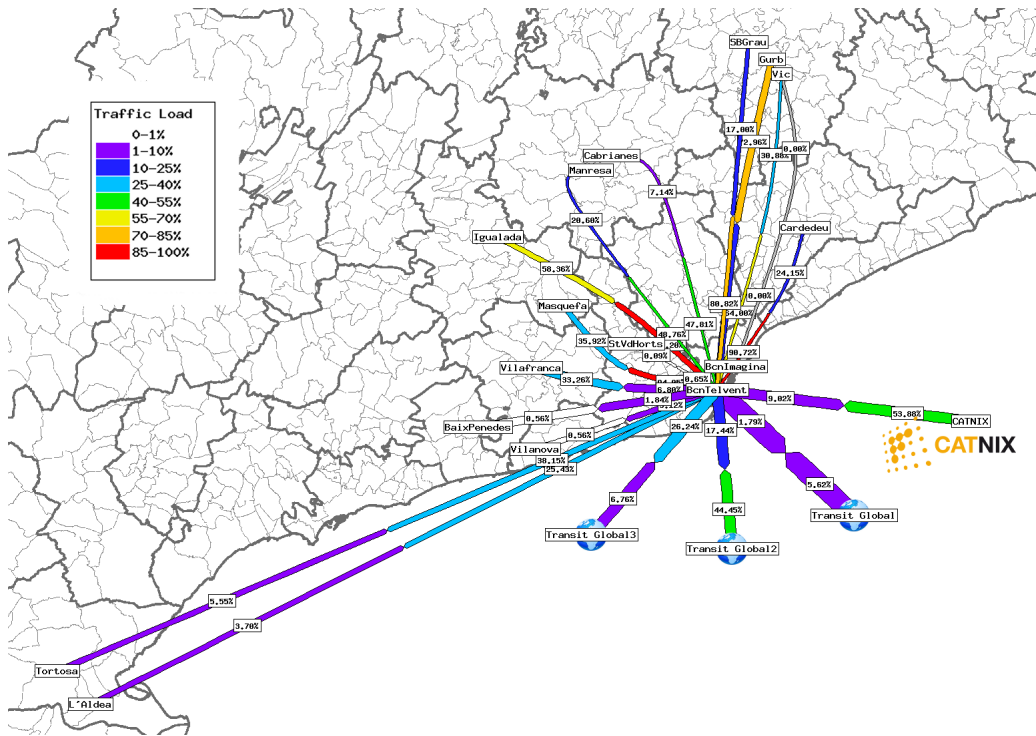


Figure 4: Dorsal de red óptica de guifi.net (Junio de 2015). El grosor de las líneas en función de la capacidad de los enlaces, desde 100 Mbps a 10 Gbps.

Table 1: Estimación de CAPEX en guifi.net (Junio de 2015)

	Cantidad [unidades]	Estimado coste medio [€/u.]	Total [€]
nodo WiFi	28.500	250	7.125.000
nodo FO	100	1.500	150.000
PoPIX	15	2.750	41.250
Comunes			7.316,250
PoPIX	15	2.750	41.250
Interconexión			41.250
TOTAL			7.357.500

no se gestionan en común (es decir, el tráfico hacia y desde el NIX o con los transportistas).

Según estimaciones de la Fundación guifi.net presentadas en la Tabla 1 y en la Tabla 2, las inversiones en bienes de capitales (CAPEX) de la infraestructura construida en procomún son superiores a 7,3M € y los gastos de funcionamiento (OPEX) son superiores a 3,0M € anuales.

A nivel IP guifi.net utiliza direcciones privadas de IPv4 RFC1918. La asignación de IPs se hizo inicialmente respetando la asignación de Redes Libres³³, pero en la actualidad se considera todo el espacio de direcciones $10/8$, aunque en la práctica sólo se usan unos pocos bloques $/16$ ³⁴. Las IPs se asignan a supern-

³³Un proyecto iniciado en el año 2000 destinado a armonizar la distribución de bloques $10/8$ entre RCs. No se mantiene desde hace años.

³⁴Asignación geográfica.

Table 2: Estimación de OPEX en guifi.net (Junio de 2015)

	Cantidad [unidades]	Estimado coste medio [€/u./año]	Total [€/año]
nodo WiFi	28.500	96	2.736.000
nodo FO	100	96	9.600
PoPIX	15	3.600	54.000
Comunes			2.799.600
Proxies	100	720	72.000
PoPIX	15	3.600	54.000
CATNIX	1	7.200	7.200
Uplink	3	12.000	36.000
Colo. Barcelona	1	18.000	18.000
Colo. Vic	1	2.400	2.400
RIPE-NCC	1	1.800	1.800
Provisión	1	48.000	48.000
Administración	1	18.000	18.000
Gestión técnica	1	18.000	18.000
Seguro	1	840	840
Interconexión			276.240
TOTAL			3.075.840

odos en rangos $/27^{35}$ y los nodos reciben una de estas direcciones IPs. Además, el bloque $172.16/12^{36}$ se utiliza para los enlaces troncales punto-a-punto. Sin embargo, este rango no está enrutado, y por lo tanto se refiere frecuentemente a las direcciones $10/8$ y $172.16/12$ como *direcciones públicas* y *direcciones privadas* respectivamente.

A nivel de enrutamiento, la red se divide en *Sistemas Autónomos*, la mayoría de ellos corriendo OSPF internamente, interconectados via BGP. Las asignaciones de números y nombres se hacen viendo la red como una sola (es decir, respetando la compatibilidad). En Junio 2015 se anunciaron cerca de 3.500 rutas en la mayor nube BGP³⁷.

5.2. Conexión a otras redes

guifi.net está conectada a muchas redes, incluida la Internet global, de varias maneras. La forma preferida es por interconexión (“peering”) con otras redes, ya que este método está estrechamente alineado con los principios cooperativos del proyecto. Otras maneras menos adecuadas, pero también posibles y utilizadas en la actualidad, son a través de transportistas de pago y compartiendo conexiones Internet domésticas. La interconexión de la red se concibe como contenido, por lo que como tal, se pone a disposición según las condiciones de quien lo ofrezca.

La Fundación guifi.net es miembro del Punto de Intercambio Catalán (CATNIX³⁸), que cuenta con unos 39 miembros (contando IPv4 e IPv6). guifi.net tiene tres enlaces con proveedores independientes de Internet: uno a 10 Gbps, otro a 1 Gbps, y el último de 300 Mbps. La capacidad de los enlaces externos y las conexiones con el CATNIX se distribuyen a los proveedores de Internet, que a su vez los distribuyen entre sus clientes. La Figura 5 muestra la evolución del tráfico total de tránsito de guifi.net entrante y saliente en los últimos doce meses³⁹. Además, la mayoría de operadores tienen rangos IPv4 e IPv6 públicos minoristas distribuidos

³⁵Una máscara de red tan pequeña es un legado de la escasez de espacio de direcciones de los tiempos de las Redes Libres (se asignaron bloques $10/8$ a cada RC independientemente de su tamaño, mientras guifi.net ya tenía miles de nodos, las otras RC tenían decenas como máximo).

³⁶En el momento de escritura, se utiliza sólo el bloque $172.25/16$. Las asignaciones se realizan en $/30$.

³⁷Debido a la agregación de bloques no está automatizada.

³⁸<http://www.catnix.net/es/>

³⁹Las discontinuidades de principios de Noviembre y mediados de Diciembre son claros ejemplos de los efectos de la integración de nuevos PoPIX.

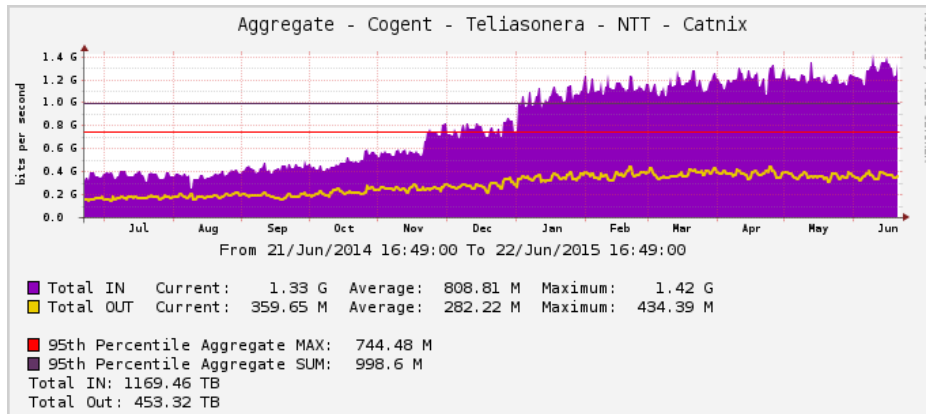


Figure 5: Tránsito entrante y saliente total de guifi.net (Julio de 2014 a Junio de 2015).

de la misma manera. La red también está conectada a la infraestructura experimental Community-Lab.net y como parte de ésta guifi.net está federado a nivel de red con varias RC Europeas.

La forma estándar en que los usuarios ponen sus conexiones domésticas a Internet a disposición de los otros miembros de guifi.net es a través de servidores proxy. Una federación de servidores proxy de acceso a Internet, desarrollado por la comunidad guifi.net, permite a cada usuario emplear todos ellos con las mismas credenciales y de forma gratuita. Las líneas DSL de las administraciones públicas (ayuntamientos, bibliotecas, telecentros, etc.) se suelen poner de esta manera a disposición de los participantes de guifi.net de esta manera, ya que ofrece muchas garantías técnicas y, lo más importante, legales.

De acuerdo con las estimaciones realizadas por la Fundación el CAPEX de las interconexiones es de alrededor de 41.250 € y el OPEX de más de 276.240 € anuales.

5.3. Participación

Como se ha indicado, el ecosistema de guifi.net es muy rico en cuanto a variedad de participantes y cada uno de ellos juega un papel estratégico. Un estudio [8] en 2014 encontró 13.407 usuarios registrados en el portal de guifi.net y 55 listas de correo. A continuación se describe la situación actual de los grupos más relevantes.

Voluntarios. Como en la mayoría de proyectos abiertos, el número de voluntarios sólo se puede cuantificar mediante cálculos indirectos, tales como el número de mensajes en las listas de correo, etc., pero cualitativamente podemos decir que la comunidad de voluntarios de guifi.net es saludable. Los voluntarios contribuyen en muchas tareas como iniciar nuevas áreas, ayudar a nuevos participantes, mejorar las herramientas informáticas, hacer mantenimiento, etc. Gracias a su proximidad y su compromiso con el proyecto, son componentes clave en la tarea de garantizar que las normas se cumplan, especialmente en las zonas donde la presencia de la Fundación es limitada. Como indicador del tamaño, además de los 13.407 usuarios registrados en el portal, hay 40 listas de distribución regionales.

Profesionales. Nueve PYMEs participan en el sistema de compensación económica. Además, muchas PYMEs y autónomos realizan instalaciones y otras actividades remuneradas relacionadas con guifi.net⁴⁰. A pesar que la competencia por clientes es siempre una fuente de tensión (deseada), que en ocasiones puede dar lugar a conflictos, podemos afirmar que la convivencia es positiva y el nivel de colaboración es bastante alto. Un indicador del tamaño son los 270 suscriptores de la lista de correo de profesionales.

El acceso a Internet sigue siendo el servicio más popular. Sin embargo, otros, como VoIP y copias de seguridad remotas también se ofrecen desde hace bastante tiempo, y nuevos servicios como distribución

⁴⁰<https://guifi.net/en/node/3671/suppliers>

de vídeo y vídeo bajo demanda son cada vez más populares, especialmente en las zonas con fibra óptica. Los profesionales que ofrecen servicios de infraestructura se conocen comúnmente como *instaladores* y los proveedores de contenido como *operadores*.

La Fundación. La Fundación guifi.net se estableció en Julio de 2008. Se ha convertido en miembro de CATNIX, así como de RIPE-NCC⁴¹ del que se ha obtenido el recurso: ASN 49835, IPv4 109.69.8.0/21, 5.10.200.0/21 y 185.32.16.0/22, IPv6 2a00:1508::/32. Desde el punto de vista legal, a través de la notificación correspondiente a la organización de regulación nacional en España⁴², es el operador de la infraestructura red por defecto (es decir, de aquellas partes de la red que no son operadas por cualquier otra persona) que es muy conveniente para los participantes que no estén familiarizados con estos detalles legales y administrativos específicos del sector de las telecomunicaciones, tales como voluntarios o administraciones públicas.

Como parte de sus acciones para estimular la actividad económica, la Fundación promueve proyectos de red (por ejemplo, el despliegue de fibra óptica en un barrio) que luego los ejecutan profesionales (las asignaciones de proyectos se realizan de acuerdo a reglas preestablecidas, y la Fundación siempre mantiene el papel de supervisor del proyecto). Además, la Fundación ayuda a estos profesionales compartiendo sus recursos, especialmente cuando empiezan, y los acompaña durante su proceso de crecimiento.

Sus actividades de difusión incluyen la promoción entre administraciones públicas, con políticos, empresas privadas y ciudadanos, el diálogo con el regulador y la respuesta a cualquier convocatoria pública que pueda afectar a la red procomún, etc.

Sus actividades de investigación están vinculadas principalmente a colaboraciones con universidades. La Fundación ha participado (en el periodo 2011-2015) en dos proyectos FP7, un proyecto CIP y un proyecto H2020 de la Comisión Europea.

Otras organizaciones de guifi.net. Una variedad de organizaciones sin ánimo de lucro complementan la actividad de la Fundación guifi.net. Son frecuentes las asociaciones locales de usuarios, algunas con identidad legal⁴³, y otras que son simplemente grupos informales. Algunos de estos grupos vienen de comunidades inalámbricas que se incorporaron a guifi.net, muchas manteniendo su identidad⁴⁴. También han surgido iniciativas cooperativas⁴⁵ que han comenzado a promover proyectos.

Este tipo de organización es un punto de entrada típico para los recién llegados, ya que hacen muchas actividades de difusión y proporcionan apoyo a los principiantes. Las asociaciones y grupos informales son los preferidos por personas con conocimientos técnicos, mientras que las cooperativas son los preferidos por aquellos que apoyan los principios e ideas de guifi.net, pero no tienen el tiempo o las habilidades necesarias para ponerlo en práctica. Dos asociaciones participan en el sistema de compensación económica.

El *grupo* LIR (GLIR) es el grupo técnico encargado de operar el NOC de guifi.net. Se compone principalmente de profesionales, pero los voluntarios también tienen el derecho a participar. Actualmente hay 42 personas en el grupo. El grupo es cerrado para proteger la información sensible.

Administraciones públicas. Como en cualquier otro tipo de infraestructura, las administraciones públicas tienen un papel estratégico (formulación de políticas, promoción, etc.) en el sector de las telecomunicaciones. Por lo tanto, la colaboración es casi obligatoria. Se han firmado convenios de colaboración entre guifi.net y muchas de ellas, en su mayoría municipios pequeños y medianos (por ejemplo, con la casi totalidad de la comarca de Osona), pero también con entidades comarcales (por ejemplo, *Consell*

⁴¹<http://www.ripe.net/>

⁴²Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones (CMT), <http://cmt.es/>

⁴³Ej. *Associació per a l'Expansió de la Xarxa Oberta*, Ej. *Delegació territorial de la Fundació al Maresme*

⁴⁴Ej. Badalona Wireless, Gràcia sense fils, Pineda sense fils, etc.

⁴⁵Ej. *Sestaferia.net*, *Eticom/Somconnexió*, *Guifi Baix*, etc.

Comarcal d'Osona). Se puede ver claramente una correlación entre el tamaño de los municipios y el nivel de compromiso con la red procomún; cuanto más pequeños y menos atendidos por las empresas de telecomunicaciones convencionales, más fuerte es el compromiso y más importantes son las contribuciones. Por el momento, más de cien ayuntamientos están colaborando activamente con guifi.net, la mayoría de ellos a través de la Fundación pero también a través de instaladores y operadores locales.

Universidades. La Fundación ha firmado convenios de colaboración con casi todas las universidades catalanas. Algunas actividades de colaboración incluyen el despliegue de infraestructura, proyectos de investigación, tutoría de estudiantes, difusión, etc.

Otros terceros. Los siguientes son ejemplos de muchos casos de colaboraciones con terceros que han resultado en contribuciones a la red procomún. Estos casos muestran que casi cualquier entidad u organización puede contribuir. Desde 2008, el dominio de primer nivel catalán (.cat) tiene la mayoría de sus servidores en las instalaciones de guifi.net; su contribución fue fundamental para poner en marcha el primera PoPIX. El Hospital de Vic⁴⁶ autoabastece sus necesidades de conectividad a través de un cable de fibra óptica desplegada por ellos mismos y que es parte del procomún.

5.4. Gobierno

Sistema de resolución de conflictos. Sólo tres casos de conciliación se han producido desde que el sistema de resolución de conflictos se estableció en 2013. El número de disputas en los foros y en las listas de correo se ha reducido considerablemente.

Sistema de compensación económica. El sistema de compensación se inició en el PoPIX de Barcelona en Abril de 2014. Actualmente se implementa en otros cuatro PoPIX y el plan es extenderlo al resto para finales de 2015.

5.5. Impacto

La Figura 6 presenta datos sobre la penetración de banda ancha y acceso a Internet en los hogares de Catalunya en 2013, publicado por el Instituto Catalán de Estadística (público) (*Institut Català d'Estadística* (IDESCAT)⁴⁷) por comarca [9]. Incluye también la tasa media de acceso a Internet de la Unión Europea, España y Catalunya. El primer aspecto a destacar es que, a pesar que Catalunya está unos tres puntos por encima de la media española, sigue estando siete puntos por debajo de la media europea. En segundo lugar, y lo más relevante en relación al impacto de guifi.net, la comarca catalana con los mejores resultados y la única que está por encima de la media de la UE, es Osona, donde nació guifi.net. Además, es la única comarca en que el acceso a la banda ancha está por encima del acceso a Internet. Los indicadores de otras comarcas donde la presencia de guifi.net es significativa, como el Bages y el Baix Ebre, también son superiores en comparación con comarcas similares pero donde la presencia de guifi.net es irrelevante.

Osona tiene cerca de 9.000 nodos⁴⁹. Combinando este número con otros procedentes de IDESCAT⁵⁰ se concluye que alrededor del 22,4% de los habitantes de Osona tiene acceso a guifi.net: alrededor de 30.500 personas.

⁴⁶La capital de la comarca de Osona.

⁴⁷<http://www.idescat.cat>

⁴⁹<http://guifi.net/es/Catalunya>, 8.958 sumando Osona y Lluçençs y restando Santa María de Marlès y Sant Feliu Sasserra, ya que pertenecen a otras *comarcas*

⁵⁰Osona tiene 71.597 hogares, Catalunya 2.944.944 <http://www.idescat.cat/pub/?id=aec&n=700>; en Osona 38.029 edificios tienen al menos un hogar, el 75,6% de los hogares son casas unifamiliares <http://www.idescat.cat/pub/?id=aec&n=692&lang=es>; la población de Osona (2013): 155.069 <http://www.idescat.cat/pub/?id=aec&n=246&lang=es>; por lo tanto, 4,08 habitantes/edificio. La relación de supernodos a los nodos es de 0,1; se estima que la mitad de ellos no están instalados en hogares.

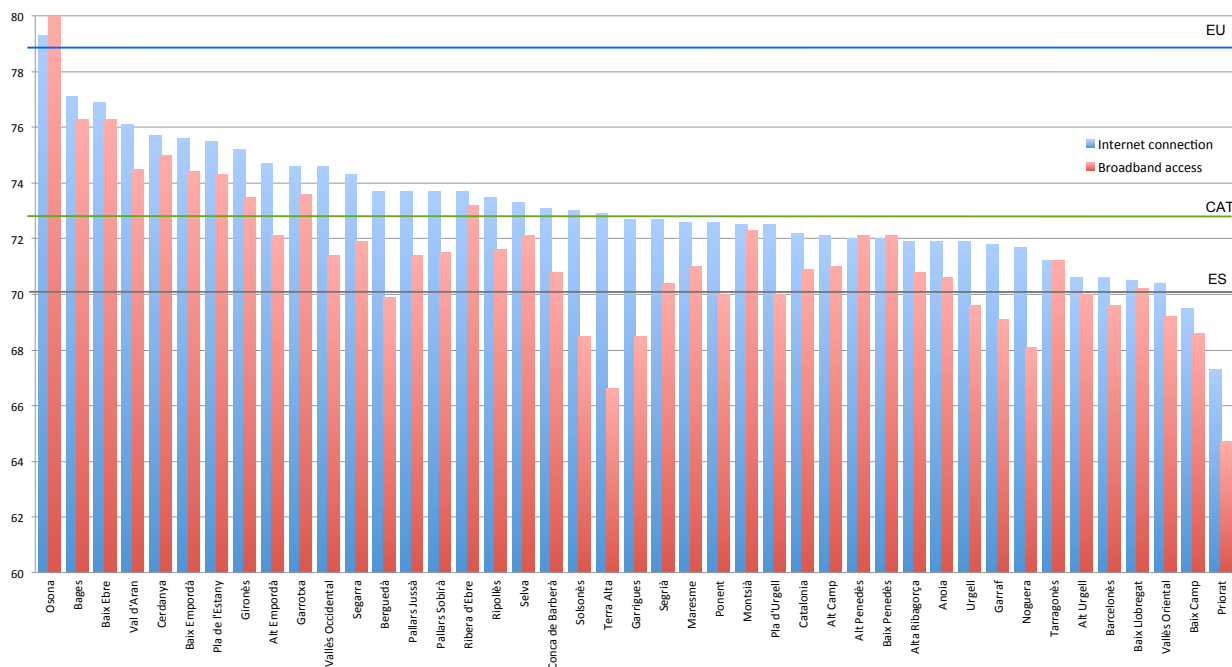


Figure 6: Banda ancha y acceso a Internet en los hogares catalanes por comarca en 2013. Fuente: IDESCAT⁴⁸

6. Discusión

Se han desplegado más de 28.500 nodos operativos a lo largo de más de diez años, con un CAPEX estimado superior a 7.3M € y un OPEX estimado superior a 3M € por año. Estos son indicadores suficientes para afirmar que el caso de guifi.net demuestra que las infraestructuras de telecomunicaciones se pueden mantener en común y también que las RC tienen un gran potencial para desarrollar la economía local.

La heterogeneidad de las tecnologías utilizadas, así como de los participantes, y el nivel de colaboración entre ellos refuerza la afirmación anterior. La comunidad de voluntarios demuestra que el proyecto es realmente abierto. El número de profesionales indica que ofrece oportunidades de negocio que garantizan su sostenibilidad. La cantidad de municipios que participan muestra su valor social. La comunidad guifi.net se caracteriza por una alta conciencia de sí misma y una voluntad generalizada de llevar el proyecto adelante. Todo esto se lleva a cabo siguiendo un modelo de construcción colectiva muy exitoso, basado en las contribuciones de una gran comunidad de más de 13.000 usuarios registrados y un conjunto de estructuras organizativas, acuerdos y herramientas de apoyo, con sólo un par de empleados a tiempo parcial dedicados a estas tareas.

Teniendo en cuenta que el número de nuevos nodos del último año es superior a 4.500 (Figura 2a), la gran cantidad de pequeñas y medianas nubes de red (Figura 2b), y que una región que ha adoptado guifi.net, Valencia, ya representa más del 17% de los nodos, podemos decir que guifi.net es un proyecto de construcción colectiva de éxito que tiene un impacto real en la sociedad (Figura 6).

La colaboración de las administraciones públicas es crucial en el desarrollo efectivo de guifi.net por la comunidad. Se hace evidente al comparar la penetración de guifi.net en las ciudades de Vic y Barcelona (Figura 3)—ambas ciudades con más de un operador convencional disponible. De hecho, a pesar de que el compromiso del consejo de Vic nunca ha sido tan fuerte como el compromiso de los municipios más pequeños de la comarca de Osona, ha tratado a guifi.net de forma correcta (por ejemplo, firmó el acuerdo con guifi.net, dando un trato similar al de operadores convencionales, pero entendiendo sus características). Por el contrario, la colaboración con el Ayuntamiento de Barcelona nunca ha funcionado. Los resultados no sólo son evidentes en términos de nodos operativos, 1.243 frente a 329, aunque Barcelona tiene unas cuarenta veces más población, sino también en términos de tasas como la de nodos planificados respecto a

operativos⁵¹, de 0,32 a 0,60, o de nodos a supernodos⁵², 0,02 a 0,3.

Explicar por qué guifi.net ha comenzado en Osona y no en otra parte, y por qué ha tenido una evolución tan espectacular, requiere un análisis detallado. El hecho de que esté bajo el marco regulador europeo ha sido, obviamente, un facilitador. El estado de desarrollo de la tecnología ayuda a explicar cuándo empezó (es decir, después de que la WiFi se volviera asequible y flexible), pero no responde el porqué se usa tanto en una determinada comarca catalana, ya que hay iniciativas inalámbricas europeas más antiguas (por ejemplo, Freifunk comenzó en el año 2000). Creemos que los factores clave han sido la visión de los fundadores en la aplicación de los conceptos de *procomún* a la infraestructura para su diseño e implementación, así como el que tuvieran los conocimientos y se comprometieran suficientes esfuerzos para poner en práctica sus ideas. Sin lugar a dudas, el enfoque de autoservicio, entendiendo que la existencia de una actividad económica sólida es esencial para la sostenibilidad de cualquier proyecto, y el enfoque evolutivo para la solución de los problemas son razones adicionales.

Es interesante observar que las RC pueden coexistir perfectamente con los operadores de red convencionales. La Figura 6 muestra que no sólo las RC contribuyen a mejorar la exclusión digital, sino que además no sustituyen a los operadores convencionales. Según IDESCAT, en un 8,54% de los hogares el precio es una razón para no tener acceso a Internet⁵³, que coincide con las diferencias en la Figura 6 en las comarcas de Osona y La Selva⁵⁴. En este sentido, mientras que unos pocos participantes de guifi.net han cancelado sus contratos con operadores convencionales, están más que superados por aquellos participantes que también tienen conexión a Internet contratada tanto con operadores convencionales como con operadores de guifi.net.

7. La infraestructura de red como recurso colectivo en común

Como ya se ha comentado, el principio subyacente detrás de guifi.net es la firme convicción de que la mejor manera de mantener una red es estableciéndola como un recurso colectivo en común (CPR). E. Ostrom estudió los CPR [10]. En esta sección se comparan sus resultados con la evolución guifi.net. Curiosamente, hasta hace poco, la obra de Ostrom era desconocida para la comunidad guifi.net. No obstante, la evolución de la mayoría de los conceptos y herramientas de gobierno desarrolladas por la comunidad encaja perfectamente con los hallazgos de Ostrom.

Según Ostrom, un CPR consiste típicamente de un recurso central que proporciona una cantidad limitada de unidades marginales que se obtienen. En nuestro caso, el recurso principal es la red, que se nutre de los segmentos de la red que los participantes despliegan para llegar a la red o para mejorarla, y la unidad marginal es la conectividad que obtienen. Los CPR resilientes requieren instituciones de gobierno eficaces para mantener una dirección a largo plazo y hacer frente a la lucha para manejar muchos actores y cambios en un sistema complejo. La dirección a largo plazo se define como sostenibilidad en permanecer productivo u operativo bajo los principios fundamentales del CPR, y el objetivo a corto plazo se define como la adaptabilidad para reaccionar y adaptarse al cambio.

7.1. Sostenibilidad

Analizando el diseño de instituciones CPR duraderas, Ostrom [10] identificó ocho principios que son requisitos previos para un CPR sostenible. A continuación argumentamos su aplicación en el caso de guifi.net:

1. Límites claramente definidos. Los principios fundamentales de participación abierta y acceso no discriminatorio y abierto en la vida de la red se traducen en recetas definidas por el marco de participación, las herramientas de gestión de la red y las herramientas de gobierno. El marco de participación se implementa, tal como se describe en la sección 4.2, a través de la licencia comunitaria, la Licencia del Procomún

⁵¹Esta tasa indica la pérdida de oportunidad, es decir, personas que se unirían a guifi.net si fuera más fácil.

⁵²Esta tasa indica el compromiso de los participantes, especialmente cuando se combina con la tasa de nodos planeados a activos, es decir, los que están en la red se han comprometido lo suficiente como para poder poner un supernodo.

⁵³<http://www.idescat.cat/pub/?id=tic1113&lang=es>, <http://www.idescat.cat/pub/?id=tic1113&n=2.4.2&lang=es>

⁵⁴Como se indica en la sección 5, la presencia guifi.net en La Selva es insignificante.

de la Red (LPR) y los acuerdos de colaboración específica con profesionales y terceros, que impiden la exclusión y aseguran un uso del recurso abierto y justo. Las herramientas de gestión de red regulan la propia infraestructura, que se describe en la Sección 4.3. Los instrumentos de gobierno regulan el sistema de resolución de conflictos y el sistema de compensación económica, que se necesita para preservar sus principios fundamentales, se describen en la Sección 4.4.

2. Reglas de uso (apropiación) y provisión de recursos comunes adaptadas a las condiciones locales. La congruencia entre apropiación (uso de la red) y provisión (expansión de la red) está mediada por las herramientas comunes de administración de red y las herramientas de aprovisionamiento que ayudan a evaluar del estado de la red y su uso, así como las herramientas para ayudar en la expansión de la infraestructura tales como situar nodos en el mapa, configuración, e incluso financiación colectiva o compartición del coste de los nodos de red y enlaces nuevos o ampliados. Estas herramientas, que se describen en la Sección 4.4, representan e implementan los principios definidos por la Licencia del Procomún de la Red.

3. Acuerdos colectivos que permitan participar a los usuarios en los procesos de decisión. La complejidad y los costes de transacción aumentan a medida que la red crece en tamaño (número de nodos, enlaces, distancia, participantes). Esta complejidad se administra con estructuras sociales, como el Registro de Internet Local (LIR) que opera la red (NOC) con una representación variada de todos los participantes del CPR, con estructuras abiertas como las reuniones cara a cara locales y globales, con la participación digital usando herramientas como las redes sociales y las listas de correo, que se describen en la Sección 4.1. En todas estas estructuras la comunidad de los que utilizan o participan en la construcción del recurso puede participar abiertamente, a pesar del hecho que los miembros del LIR y los patrones de la Fundación dependen de un grupo de usuarios experimentados y representativos.

4. Seguimiento efectivo por controladores que sean parte de la comunidad y respondan a ella. El seguimiento se realiza con la ayuda de herramientas informáticas de gestión y planificación de red, descrito en la Sección 4.3, que proporcionan una fuente de información común sobre la historia y el estado de los recursos de la infraestructura común; y con el liderazgo de miembros locales experimentados y de confianza que se sirven de estos datos abiertos y coordinan decisiones cuando resulta necesario. Estas decisiones son transparentes, argumentadas e informadas a través de las herramientas de comunicación, que se describen en la Sección 4.1, y se registran en la historia de la organización, como parte de la licencia extendida de la comunidad.

5. Sanciones proporcionadas para los usuarios que no respeten las normas de la comunidad. El sistema de resolución de conflictos, que se describe en la Sección 4.4, tiene métodos claros y sistemáticos para hacer frente a los usuarios que perjudican el recurso de infraestructura en común. Los problemas suelen producirse debido a los desequilibrios entre la inversión en la infraestructura y el uso de la red, por lo general entre los miembros profesionales. El informe de costes se recoge, y lo comunica públicamente la Fundación guifi.net que también se encarga de la facturación para compensar desequilibrios.

6. Mecanismos de resolución de conflictos que sean baratos y de fácil acceso. El sistema de resolución de conflictos proporciona un procedimiento estructurado con tres etapas graduales, y niveles progresivos de complejidad y de coste económico a los participantes, guiados por un abogado seleccionado entre un conjunto de voluntarios. Este sistema ha demostrado ser barato, fácilmente accesible, eficiente, eficaz y gradual, lo que permite hacer frente a un amplio rango de conflictos en torno a la red.

7. Auto-determinación de la comunidad reconocida por autoridades externas. La licencia de la comunidad ha sido revisada por abogados y escrita para ser válida y aplicable conforme a la legislación española, donde guifi.net se despliega principalmente. Además, la Fundación guifi.net ha firmado convenios de colaboración con administraciones públicas locales y regionales y está establecida legalmente para su función. También está registrada como proveedor de red o proveedor de servicios de telecomunicaciones en España y miembro de la Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones, que valida sus mecanismos de prestación de servicios. Este es el marco de participación que se describe en la Sección 4.2.

8. Para CPR de mayor tamaño, organización con varias capas de iniciativas anidadas, con pequeños CPR locales en la base. La Fundación intermedia en una compleja estructura de participantes (como individuos, profesionales, proveedores de servicios, entidades públicas), muchos CPR locales en la base, proporcionando un CPR federado con muchos aspectos en común, que interactúa con organizaciones externas a nivel local y global en muchos aspectos. Esto se describe en el marco de participación en la

Sección 4.2.

7.2. Adaptabilidad

Como ya se ha mostrado, en guifi.net los conceptos y herramientas de gobierno se han desarrollado y refinado a medida que nuevos problemas y obstáculos fueron apareciendo, con una forma de gobierno completamente adaptativa. Ostrom [11] esbozó cinco requisitos básicos para lograr un gobierno adaptativo:

1. Lograr una información precisa y relevante, al centrarse en la creación y utilización del conocimiento científico oportuno por parte tanto de los gestores como de los usuarios del recurso. La comunidad produce conocimiento abierto sobre las prácticas y la experiencia, y trabaja con la comunidad científica para co-desarrollar y aplicar conocimientos científicos para el mejor desarrollo, gestión y uso del CPR. Los convenios de colaboración con organizaciones académicas de investigación e innovación son el instrumento para desarrollar este principio, que se describe en la Sección 4.2.

2. Hacer frente a los conflictos, asumiendo que se producirán, y habiendo establecido sistemas para descubrirlos y resolverlos lo antes posible. Los indicadores acerca del CPR se recogen y gestionan por las herramientas de gestión y provisión de la red. Las reglas en la licencia comunitaria y en los acuerdos de colaboración definen los límites que determinan las situaciones conflictivas, cuantificadas y descubiertas por inspección de los datos recogidos por las herramientas anteriores. Los mecanismos de discusión se basan en las herramientas de participación donde los conflictos se definen y luego se resuelven usando instrumentos para llegar a un consenso, como el sistema de resolución de conflictos, y por último el sistema de compensación económica, que se describe en la Sección 4.4, y todo ello coordinado por la Fundación guifi.net.

3. Mejorar el cumplimiento de las reglas, creando responsabilidad entre los usuarios de un recurso de supervisar su uso. El principio de transparencia requiere que los usuarios publiquen datos abiertos sobre la red y permitan el seguimiento de los nodos y su tráfico. Este requisito le da soporte y facilitan las herramientas de gestión de la red, que se describen en la Sección 4.3. Las herramientas de comunicación también proporcionan soporte a cualquier discusión y promueven un uso responsable del CPR.

4. Proporcionar infraestructura, que sea flexible a lo largo del tiempo, para ayudar en el funcionamiento interno y para crear enlaces a otras entidades. La Fundación proporciona la infraestructura y la flexibilidad para entender y adaptarse a los cambios en el tiempo, supervisar la evolución del CPR, facilitar el funcionamiento interno, y mantener vínculos con organizaciones externas y otras entidades que coexisten, interactúan y interoperan con el CPR.

5. Fomentar la adaptación y el cambio, para hacer frente a errores y a nuevos desarrollos. La Fundación y sus patrones, en su rol de supervisión y rectora (a veces conocido como segundo nivel o organización paraguas), desempeñan este papel de guiar procesos de reflexión, aprendizaje organizativo, y previsión.

8. Lecciones aprendidas

En esta sección se discute lo que, a nuestro entender, son las principales lecciones aprendidas. A partir de nuestra participación activa e investigación sobre guifi.net, y en comparación con otras RC, este mosaico de ideas y prácticas vagamente conectadas pretende ser un amplio conjunto de recomendaciones para otros proyectos. Recomendamos claramente que estos proyectos se basen en lo que ya existe, que dediquen sus esfuerzos a refinarlo, y contribuyan a cambio sus mejoras.

Acceso abierto y no discriminatorio. A pesar que estos conceptos están implícitos en las RCs, es esencial asegurarlos. Por lo tanto, es bueno hacerlos explícitos. El éxito de guifi.net está demostrado, ya que ha facilitado el acceso a la infraestructura en las zonas donde otros modelos tradicionales de provisión de infraestructura no estaban disponibles o no eran efectivos.

Adopción temprana de una licencia de red. La existencia de un marco tan preciso para la participación ha demostrado ser muy eficaz para focalizar los esfuerzos de la comunidad y crear un entorno adecuado para el desarrollo empresarial y la inversión local. Es importante darse cuenta que, i) por lo

que sabemos, guifi.net es la única RC con reglas tan definidas, y es mucho más grande que el segundo más grande, ii) la versión inicial de la licencia se adoptó cuando sólo había unas pocas decenas de nodos, y por lo tanto, la idea de la necesidad de una regulación formal se introdujo desde una etapa muy temprana, iii) varias RC, muchas inspiradas en guifi.net, han intentado sin éxito adoptar una licencia similar cuando ya contaban con varios cientos de nodos; generalmente han fracasado porque el número de participantes era demasiado alto para lograr un consenso sobre un asunto tan radical. La licencia ha sido fundamental para garantizar el acceso a la infraestructura colectiva y garantizar los derechos de participación en la producción y gobierno de la RC. La licencia también ha permitido su crecimiento.

Participación diversa. Como resultado de la particular naturaleza del recurso que se contribuye en las RCs (es decir, una infraestructura física), como ya se ha discutido ampliamente, el equilibrio en la participación de los tres grupos de participantes identificados en la Sección 2 es crucial para la correcta implementación y desarrollo del proyecto adecuado dadas sus funciones específicas e insustituibles. En resumen, los voluntarios tienen la responsabilidad de garantizar la neutralidad del proyecto y su independencia, impulsar la creatividad y la innovación, mantener el espíritu amateur, y mantener los derechos de los consumidores. Los profesionales deben proporcionar bienes y servicios, ya que son los responsables de cubrir la demanda del mercado y, por su propio interés, tienen que conseguir los fondos para mantener todo el ecosistema. Las Administraciones Públicas son responsables de los recursos públicos (acceso a los conductos de carreteras, postes, etc.), incluyendo la infraestructura de red, y pueden querer usarlos para satisfacer sus propias necesidades de telecomunicaciones.

La infraestructura como recurso común. El *procomún* es el principio más adecuado y eficaz para la gestión de recursos que guía la vida y el desarrollo de la comunidad.

Herramientas eficaces para la participación y la coordinación. Son esenciales para poner en práctica el marco teórico. Las herramientas alrededor de datos abiertos, procedimientos, automatización y herramientas de coordinación ayudan a reducir la barrera para acceder a la infraestructura y para participar en su producción colectiva. Reducen el coste de la toma de decisiones y acción, y son imprescindibles para la transparencia y la rendición de cuentas. También son fundamentales para la expansión de la RC. Por lo tanto, se deben refinar continuamente.

Organización multinivel. Una red grande y compleja requiere una estructura con varios niveles para la retroalimentación y las interacciones en muchas comunidades locales que coordinen por una organización de segundo nivel, como la Fundación guifi.net, que agrega y también interactúa con agentes externos.

Liderazgo y orientación. Todo el proceso es muy innovador y, por tanto, debido a su naturaleza abierta, susceptible a desviaciones. Unas ideas claras y un fuerte liderazgo han demostrado ser muy eficaces para frenar las discusiones improductivas y contener actitudes conflictivas. No obstante, la orientación siempre debe ser razonable, incluyente y transparente. Cuanto mayor sea el nivel de la organización, mayor será su importancia.

Equilibrar el esfuerzo entre el desarrollo de herramientas de apoyo y el despliegue de la red.

El objetivo principal y la manera de mantener vivo el proyecto es desplegar infraestructura y mantenerla operativa. Obviamente, para lograrlo, se debe disponer de un conjunto completo de herramientas, muchas de ellas comentadas aquí. No obstante, es crucial mantener un equilibrio entre el esfuerzo dedicado a la construcción de este conjunto de herramientas y el esfuerzo dedicado al trabajo de campo de despliegue. Por desgracia, hemos visto muchos proyectos que han fracasado debido a esfuerzos excesivos en uno de los dos aspectos, dejando el otro sin suficiente atención. Nuestra recomendación general es aprovechar cualquier oportunidad para desplegar nueva infraestructura y resolver los problemas que vayan apareciendo (no hay que olvidar que el valor de la red aumenta con cada nuevo nodo).

Participación amplia de la sociedad. Las razones para iniciar un proyecto de RC varían. Las más frecuentes son la experimentación y la investigación por parte de un grupo de técnicos altamente cualificados. Sin embargo, las RC de este tipo con las que estamos familiarizados no han podido involucrar a su entorno social, porque estas motivaciones no sean atractivas para el público general, y por lo tanto, estas redes se han mantenido como proyectos marginales. Por el contrario, guifi.net se ha concebido como una red de producción desde el principio, y por lo tanto, ha atraído la atención de muchas personas que han encontrado en ella una oportunidad para resolver sus problemas de conectividad. Una vez que han comprendido el valor social de la propuesta, algunos de ellos se han convertido en colaboradores muy activos.

9. Direcciones futuras

A pesar de que el desarrollo del proyecto guifi.net es sumamente positivo, como ya se ha discutido, no es menos cierto que debe seguir evolucionando para enfrentarse a los desafíos de un contexto globalizado. Los servicios inadecuados y caros de los proveedores de Internet convencionales han sido y siguen siendo una oportunidad para que emprendedores puedan establecerse en el mercado de las telecomunicaciones. Sin embargo, se espera que este nicho del mercado se reduzca de manera significativa en los próximos años como consecuencia de las políticas de modernización que los ISP convencionales están implementando. El proyecto en su conjunto debe aprovechar la oportunidad de esta ventana temporal para consolidar su posición en el mercado mediante el despliegue de tanta infraestructura procomún como sea posible, así como mediante el desarrollo de productos diferenciadores, comercializados por los profesionales, ya que la competencia basada solamente en el precio no será viable. A nivel de ISP, es necesario un equilibrio adecuado entre economía de escala y productos a medida. Por un lado, la agregación de los clientes es una estrategia evidente para la reducción de costes, pero por el otro, las ofertas de servicios personalizados han demostrado ser muy apreciadas, especialmente por las PYMEs. A nivel regional, la colaboración entre los proveedores de Internet debe continuar e incluso incrementarse para fortalecer el proyecto y continuar beneficiándose de la agregación de la demanda. Iniciativas como el desarrollo de un Punto de Intercambio regional regido por los principios de guifi.net (el ****CommonsIX*) y promovido por la Fundación están bien alineadas con este objetivo.

La internacionalización es un reto estimulante con muchas oportunidades. Los beneficios de la adopción del marco de guifi.net por otras comunidades, es decir nuevas personas con nuevas habilidades y nuevas ideas, con la necesidad de adaptar el marco a diferentes realidades, con contribuciones a los procesos de formalización y modularización, etc., pueden mejorar significativamente el modelo. Esto es particularmente cierto si el adoptante es de un estado diferente debido al cambio de normativa, lengua, u otros desafíos. Por ejemplo, muchas RC han mostrado interés en la licencia RC de guifi.net. Sin embargo, objetan que es demasiado dependiente del marco legal español. Trabajar en diferentes estados traería la posibilidad de desacoplar los asuntos globales de las especificidades locales. De esta manera, por ejemplo, la licencia de la RC podría dividirse en partes, la primera para ser compartida con todos los adoptantes, estableciendo así el marco de colaboración, y la segunda hecha a medida de cada RC específica para hacer frente a sus necesidades locales. Siguiendo el enfoque de la organización de varios niveles discutido en la Sección 8, este proceso traería la oportunidad de crear una organización de nivel superior (internacional) para coordinar las RCs y hacerse cargo de asuntos globales. El proceso de internacionalización también contribuiría a la creación de una conciencia colectiva del valor social del modelo de bienes en común, no sólo para la infraestructura de red, sino también para otros casos.

Internamente, el crecimiento del proyecto guifi.net conlleva retos interesantes. A nivel social, por ejemplo, la comunidad de colaboradores está a punto de llegar a un tamaño en que no se conozcan entre sí fácilmente. Esta situación pondrá a prueba las herramientas y recursos sociales desarrollados, y es muy probable que implique cambios. Técnicamente, el agotamiento de direcciones IPv4 es un gran desafío para la comunidad, así como la obsolescencia tecnológica de hardware y software.

10. Conclusiones

Las redes comunitarias, infraestructuras de red procomún, neutras y abiertas construidas de forma colectiva, son un modelo satisfactorio desarrollado en los últimos 10 años o más, con guifi.net como caso de éxito. La comunidad guifi.net ha creado y desarrollado una metodología basada en los principios de gestión de bienes en común que ha crecido y resulta sostenible por ser abierta y neutra a las diversas opciones tecnológicas, al tráfico, a los participantes, incluyendo voluntarios, profesionales y administraciones públicas.

La comunidad guifi.net ha evolucionado para adaptarse al crecimiento a través del desarrollo colectivo y el uso de herramientas de coordinación. Eso incluye i) herramientas de comunicación; ii) herramientas para la planificación y gestión de la red; iii) un marco de participación con herramientas organizativas como la licencia comunitaria, la Fundación, o acuerdos de colaboración; y iv) instrumentos de gobierno, incluyendo la resolución de conflictos, y la compensación económica. El resultado es una comunidad saludable con más de 13.000 participantes registrados, una infraestructura de red de más de 40.000 nodos declarados y más de 28.500 operativos y una longitud total de alrededor de 50.000 kilómetros de enlaces, conectada a la Internet global.

El caso de guifi.net es una prueba sólida que las infraestructuras pueden gestionarse eficazmente como un bien en común. De hecho, el caso guifi.net tiene suficientes diferencias, complejidad, coherencia y detalle como para merecer su propio modelo específico, el *modelo guifi.net*. Este modelo de infraestructuras de telecomunicación, en comparación con los modelos convencionales, es social, económica y ambientalmente más eficaz en su contexto: socialmente, ya que se basa en los principios de acceso no discriminatorio y abierto que apoyan a las personas y preservan la soberanía de la infraestructura; económica y ambientalmente, por el paradigma de intercambio en el que se basa, el recurso colectivo en común, que maximiza la utilización de los recursos; y el modelo parece crecer bien. En contra de la tendencia a privatizar las infraestructuras públicas, como la red telefónica, nos afirmamos en la oportunidad para la transformación y el desarrollo de infraestructuras de red siguiendo este modelo de procomún.

Agradecimientos

Este trabajo está apoyado por el Programa Marco de la Unión Europea 7, en proyectos de la iniciativa FIRE “Community Networks Testbed for the Future Internet” (CONFINE), FP7-288535, y “A Community networking Cloud in a box” (CLOMMUNITY), FP7-317879. Agradecemos la traducción del artículo original⁵⁵ al castellano realizada por Carolina Navarro.

Referencias

- [1] J. Avonts, B. Braem, C. Blondia, A Questionnaire based Examination of Community Networksdoi:{10.5281/zenodo.7450}. URL <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.7450>
- [2] D. Thapa, O. Saebo, Demystifying the possibilities of ict4d in the mountain regions of nepal, in: System Sciences (HICSS), 2011 44th Hawaii International Conference on, 2011, pp. 1–10. doi:10.1109/HICSS.2011.142.
- [3] B. Braem, R. Baig Viñas, A. L. Kaplan, A. Neumann, I. Vilata i Balaguer, B. Tatum, M. Matson, C. Blondia, C. Barz, H. Rogge, F. Freitag, L. Navarro, J. Bonicioli, S. Papathanasiou, P. Escrich, A case for research with and on community networks, ACM SIGCOMM Computer Communication Review 43 (3) (2013) 68–73. doi:10.1145/2500098.2500108. URL <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2500098.2500108>
- [4] L. Maccari, An analysis of the nixnet wireless community network, in: Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), 2013 IEEE 9th International Conference on, 2013, pp. 1–7. doi:10.1109/WiMOB.2013.6673332.
- [5] L. Cerda-Alabern, On the topology characterization of guifi.net, in: Proceedings of the 2012 IEEE 8th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), WiMOB '12, IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, 2012, pp. 389–396. doi:10.1109/WiMOB.2012.6379103. URL <http://dx.doi.org/10.1109/WiMOB.2012.6379103>
- [6] D. Vega, L. Cerda-Alabern, L. Navarro, R. Meseguer, Topology patterns of a community network: Guifi.net, in: Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), 2012 IEEE 8th International Conference on, 2012, pp. 612–619. doi:10.1109/WiMOB.2012.6379139.

⁵⁵<http://people.ac.upc.edu/leandro/pubs/crowds-guifi-en.pdf>

- [7] G. Hardin, The tragedy of the commons, *Science* 162 (1968) 1243–1248.
URL <http://www.sciencemag.org/cgi/reprint/162/3859/1243.pdf>
- [8] D. Vega, R. Meseguer, F. Freitag, Analysis of the social effort in multiplex participatory networks, in: J. Altmann, K. Vanmechelen, O. Rana (Eds.), *Proceedings of the 11th International Conference on Economics of Grids, Clouds, Systems and Services, GECON '14*, Springer International Publishing, 2014.
- [9] Statistical Institute of Catalonia, Territorial statistics of information and communication technologies in households (2013).
URL <http://www.idescat.cat/novetats/?id=1724&lang=en>
- [10] E. Ostrom, *Governing the commons: the evolution of institutions for collective action*, Cambridge University Press, 1990.
URL <http://www.cambridge.org/us/academic/subjects/politics-international-relations/political-economy/governing-commons-evolution-institutions-collective-action>
- [11] E. Ostrom, The challenge of common-pool resources, *Environment: Science and Policy for Sustainable Development* 50 (4) (2008) 8–21. doi:10.3200/ENVT.50.4.8-21.