

**ALTERNATIVAS DE ACCESO A INTERNET PARA  
ESTABLECIMIENTOS EDUCATIVOS RURALES OFICIALES  
SIN COBERTURA EN LOS MUNICIPIOS NO  
CERTIFICADOS EN ANTIOQUIA**

**Alejandro Espinal Duque**



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
POSTGRADOS ESCUELA DE INGENIERÍAS  
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN  
MEDELLÍN  
2017

**ALTERNATIVAS DE ACCESO A INTERNET PARA  
ESTABLECIMIENTOS EDUCATIVOS RURALES OFICIALES  
SIN COBERTURA EN LOS MUNICIPIOS NO  
CERTIFICADOS EN ANTIOQUIA**

**Alejandro Espinal Duque**

Trabajo de grado para optar al título de Magister en Tecnologías de la Información y la  
Comunicación

Director

Leonardo Betancur A, PhD



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
POSTGRADOS ESCUELA DE INGENIERÍAS  
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN  
MEDELLÍN  
2018

## DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Declaro que esta tesis (o trabajo de grado) no ha sido presentada para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier otra universidad, Art 82 Régimen Discente de Formación Avanzada.

Firma autor:

*alupndro E.*

Fecha: octubre 12 de 2018

*“A mis padres, Gloria y Harley, de quienes heredé responsabilidad. . . .”*

## Agradecimientos

Deseo expresar un especial agradecimiento a mi esposa Ana Isabel quien pacientemente trató de entender los contenidos de esta tesis para darme sus recomendaciones y apreciaciones que fueron muy valiosas. También quiero agradecer al Profesor Leonardo Betancur quien me orientó en este proceso de aprendizaje y crecimiento. . .

# Índice general

Índice General	VII
Índice de Figuras	IX
Índice de Tablas	X
Resumen	XI
Introducción	XII
Planteamiento del Problema	XIV
Justificación	XVI
Objetivos	XVIII
Alcance	XIX
Metodología	XX
1. Definición del estado del arte del problema	1
2. Conectividad en I.E.R. oficiales en Antioquia	14
3. Caso de estudio - Sonsón	23
4. Plan de mejora de conectividad en Antioquia	31



# Índice de Figuras

1.	Árbol del problema. Fuente propia. . . . .	XIV
2.	Conectividad en establecimientos educativos de Antioquia en el año 2017. Fuente propia. . . . .	XV
1.1.	Indicador Conectividad 2017. Fuente: Computadores para Educar [1]. . . . .	2
1.2.	Ancho de banda sugerido por rango de equipos. Fuente: MEN[2]. . . . .	3
1.3.	Tráfico Global de Internet en Escuelas. Fuente: Plan Ceibal [3]. . . . .	4
1.4.	Red de globos aerostáticos del proyecto Loon de Google. Fuente: Project Loon. . . . .	7
1.5.	Diseño Globos. Fuente: Project Loon. . . . .	8
1.6.	Cobertura de banda KA en Colombia. Fuente: BANSAT. . . . .	10
1.7.	Piloto TVWS. Fuente: Plan Ceibal. . . . .	12
1.8.	Piloto TVWS South Africa. Fuente: IEEE Spectrum[4] . . . . .	13
2.1.	Zonas de los establecimientos educativos oficiales en Antioquia. Fuente: Base de datos Secretaría de Educación de Antioquia. . . . .	15
2.2.	I.E. Rurales Vs desconexión. Fuente: Base de datos Secretaría de Educación de Antioquia. . . . .	16
2.3.	Alternativas de conexión actuales en zonas rurales. Fuente: Agencia Nacional del Espectro. . . . .	20
2.4.	Aula Digital. Fuente: El Colombiano[5] . . . . .	22
3.1.	Número de E.E. por subregión diferenciando zona rural de la urbana. Fuente: Bases de datos Secretaría de Educación de Antioquia. . . . .	23
3.2.	Numero de E.E. desconectados en municipios del Oriente Antioqueño. Fuente: Bases de datos de la Secretaría de Educación de Antioquia. . . . .	24

## ÍNDICE DE FIGURAS

IX

3.3. Resultado algoritmo Dijkstra. Fuente propia. . . . .	25
3.4. Zona de Fresnel no afectada. Fuente propia. . . . .	27
3.5. Zona de Fresnel afectada. Fuente propia. . . . .	29
3.6. Diagrama de flujo. . . . .	30
4.1. Mapa del Proyecto Nacional de Fibra Óptica. Fuente: MINTIC . . . . .	33
4.2. Terminales entregadas Computadores para Educar. Fuente: CPE . . . . .	36

# Índice de Tablas

2.1. I.E.R. desconectadas por municipio en Oriente. Fuente: Base de datos Secretaría de Educación de Antioquia. . . . .	17
2.2. Ancho de banda sugerido. Fuente: Programa Conexión Total. . . . .	19
3.1. Altitud evaluada en n distancias - Zona de Fresnel no afectada. Fuente propia.	27
3.2. Altitud evaluada en n distancias - Zona de Fresnel afectada. Fuente propia.	28
4.1. Costos de equipos y servicios. Fuente propia. . . . .	37

# Resumen

El acceso a las tecnologías de información y comunicación (TIC) brinda facilidades y capacidades para la transformación educativa, cultural y económica. Sin embargo, en las zonas más alejadas del departamento de Antioquia (Colombia) hace falta un importante despliegue de infraestructura de telecomunicaciones que permita conectar la totalidad de los establecimientos educativos del departamento y, de esta forma, brindar más oportunidades por medio de las herramientas ofimáticas. Para comprender la situación técnica, se debe conocer cuáles son las condiciones actuales y, después de tener un contexto, plantear una solución efectiva y viable para el escenario de interés.

**Palabras clave:** Establecimientos educativos rurales, conectividad rural, infraestructura de telecomunicaciones, educación rural.

## Abstract

The information technologies access (ICT), gives abilities to an educational, cultural and economic transformation, however there is not a telecommunications infrastructure deployment in the far zones of Antioquia to have the possibility to connect all of the rural schools. To give access to this population and understand the actual technical situation, is important to know what are the conditions and discuss solutions to respond to this problematic.

**Key Words:** Rural schools, rural connectivity, Telecommunications infrastructure, rural education.

# Introducción

En el departamento de Antioquia se han identificado diferentes causas de la falta de cobertura del servicio de Internet en los establecimientos educativos rurales. Una de las principales dificultades es la limitada infraestructura de telecomunicaciones en las zonas rurales. Al estar las comunidades ubicadas de una forma dispersa en las regiones, hace que la cobertura existente sea insuficiente y que las inversiones en infraestructura no tengan un retorno económico por los pocos usuarios en sectores específicos.

Esa misma carencia de conectividad también se ve traducida en posibilidades remotas de acceso a contenidos dispuestos por las tecnologías de información y comunicación (TIC) y a material formativo que apoye el mejoramiento de la calidad educativa de dichas poblaciones, además en la institución educativa no solo se desarrollan actividades educativas, también puede convertirse en un punto de encuentro, un centro cultural y dinamizador de la comunidad. En muchas pequeñas poblaciones, la sede educativa es el único espacio existente donde se desarrollan actividades que conlleven la participación de la mayoría los habitantes [6].

Ante esa realidad, es posible afirmar que existe una brecha digital que divide a la población rural de los recursos mundiales de información y conocimiento dispuestos en línea [7]; por este motivo, la limitación de las tecnologías tradicionales de banda ancha obliga a plantear nuevas alternativas para llevar Internet a lugares sin cobertura. Y si bien los esfuerzos del Gobierno Nacional, en cabeza del Ministerio TIC, están dirigidos en parte a mejorar la cobertura y proveer de acceso público a Internet a comunidades con más de 100 habitantes en centros poblacionales rurales<sup>1</sup>, dicho objetivo no impacta aún algunos de los establecimientos educativos rurales de subregiones de Antioquia.

Adicionalmente, los esfuerzos dirigidos a reducir la brecha digital rural, están en coherencia con metas establecidas por el Gobierno Nacional considerando el contexto de paz y pos conflicto en Colombia donde se planifica la articulación de esfuerzos que fomenten el estudio de problemáticas y disciplinas que apoyen el desarrollo de redes de telecomunicaciones en la ruralidad dando cumplimiento de esta forma al Plan Nacional de Electrificación y Conectividad rural, donde se establecen los siguientes criterios:

---

<sup>1</sup>Información disponible en: <http://www.mintic.gov.co/portal/vivedigital/612/w3-propertyvalue-642.html>

- Ampliación de la cobertura eléctrica.
- Promoción y aplicación de soluciones tecnológicas apropiadas de generación eléctrica según el contexto de las comunidades rurales.
- Asistencia técnica y promoción de capacidades organizativas de las comunidades para asegurar la sostenibilidad de las obras.
- Capacitación del uso de energía para garantizar su sostenibilidad.
- Instalación de infraestructura que garantice acceso a Internet de alta velocidad en cabeceras municipales.
- Oferta de soluciones de acceso comunitario a Internet para centros poblados. [8]

El análisis previo de los factores mencionados y las investigaciones para mejorar los servicios, ampliar el rango de impacto y transformar las posibilidades concentradas en poblaciones específicas de Antioquia, favorecerá a un mayor número de usuarios, principalmente actores de comunidades educativas que participan en el proceso educativo del departamento.

# Planteamiento del problema

Existen diferentes causas a la falta de cobertura del servicio de Internet en los establecimientos educativos rurales, una de las principales dificultades es la limitada infraestructura de telecomunicaciones en las zonas rurales donde los centros poblados se encuentran dispersos por toda la región, dificultando la cobertura existente e imposibilitando que la inversión en infraestructura realizada hasta el momento no tenga un retorno económico efectivo.

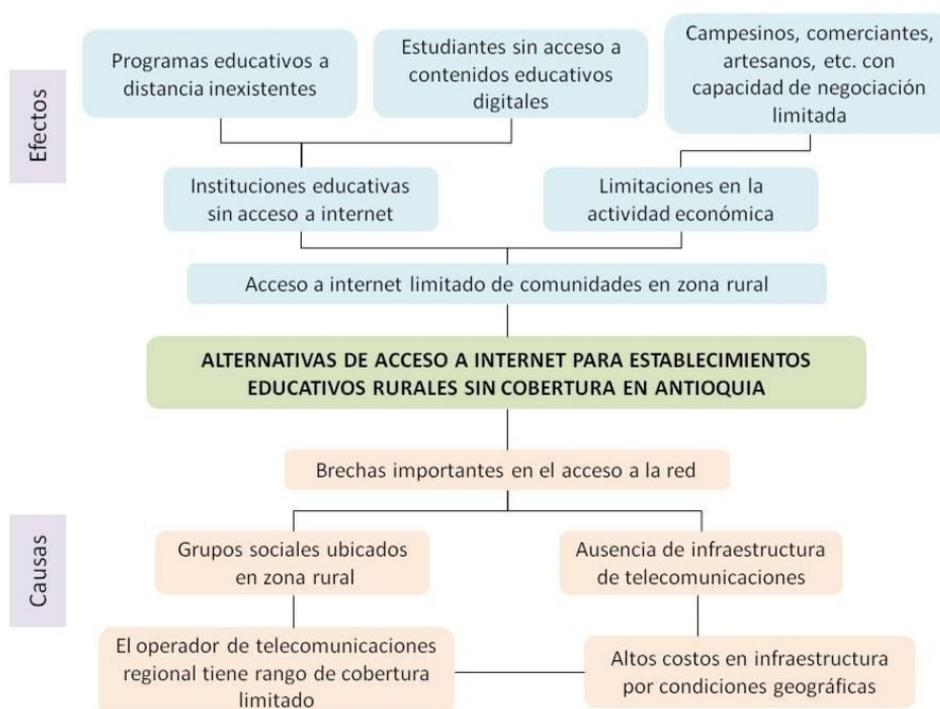


Figura 1: Árbol del problema. Fuente propia.

En los últimos años, la Internet se ha convertido en una herramienta clave para el desarrollo en diversos ámbitos: económico, político, cultural, académico, etc. Es por esto que se han planteado estrategias para responder al principio de conexión y evolución de los

frentes mencionados, proporcionando conectividad a comunidades urbanas y rurales, pero que aún enfrentan grandes retos en materia geográfica y de distancias entre poblaciones dispersas.

La problemática dificulta el despliegue de las tecnologías tradicionales de banda ancha y obliga a pensar en nuevas alternativas para llevar Internet a los lugares donde no hay cobertura.

En Antioquia, al igual que en otros lugares del mundo, existe una brecha digital que separa a la población rural de los recursos mundiales de información y conocimiento dispuestos en línea. Dicha situación ha generado que en los últimos años se planteen diferentes estrategias que permitan brindar servicios de mejor calidad, costo competitivo y mayor cobertura para distintas zonas del departamento.

Así se ha logrado conectar un número importante de establecimientos educativos rurales a Internet por medio de la tecnología UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) mientras que más de 2000 sedes educativas siguen sin conexión porque los operadores de telecomunicaciones regionales tienen un rango de cobertura limitado[9].

## Conectividad en establecimientos educativos de Antioquia.

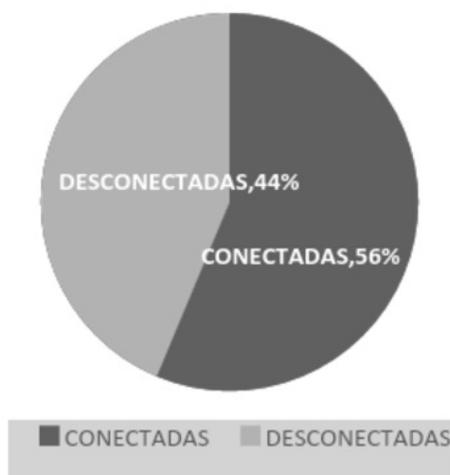


Figura 2: Conectividad en establecimientos educativos de Antioquia en el año 2017. Fuente propia.

Los operadores de telecomunicaciones en las regiones no realizan ampliaciones considerables de la cobertura a las zonas alejadas, lo cual impide favorecer mayor número establecimientos educativos rurales y plantea un reto a enfrentar por parte de los gobiernos nacional y regional.

# Justificación

Brindar una conexión a Internet en los establecimientos educativos rurales que se encuentran desconectados en la actualidad, podría generar beneficios a la comunidad educativa, como:

- Aportar al mejoramiento de la calidad educativa con el acceso a diferentes contenidos educativos digitales dispuestos por el Gobierno Nacional u otras entidades interesadas en promover nuevos hábitos de formación.
- Ampliar las posibilidades de acceso a programas de educación a distancia por medio de la Internet.
- Posibilitar nuevas prácticas educativas utilizando diferentes herramientas y el fomento de prácticas colaborativas en línea.

Estos aspectos llevan al desarrollo de estrategias de educación innovadoras, lo cual es una herramienta efectiva para el mejoramiento de la calidad de la educación.

Para lograr el cumplimiento de objetivos dirigidos al mejoramiento en la cobertura de Internet, es fundamental la articulación de diferentes actores, perfiles interesados en invertir recursos en el mejoramiento de conectividad, no sólo en aspectos de presupuesto económico, sino también en la disponibilidad de capital humano abierto a innovar, investigar y capacitarse.

Según el Reporte Global de Acceso a Internet, estado de conectividad en 2015 publicado por Facebook, las iniciativas del sector público y privado son esenciales para dar cumplimiento a las metas de 2020 planteadas por la Asamblea General de las Naciones Unidas y la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU): Disponibilidad, asequibilidad, pertinencia y preparación a las poblaciones impactadas para asumir los cambios venideros con el acceso a Internet.

Y aunque estas acciones podrían representar también un grado de riesgo, es igualmente importante señalar que puede ser mitigado mediante una cuidadosa investigación y análisis de datos que conlleven a planificaciones cuidadosas para mitigar las barreras de acceso y de desarrollo de comunidades.

Para esto se requiere identificar las necesidades y limitaciones técnicas que se presentan, elaborar una estrategia que permita contemplar diferentes factores y escenarios; y presentar una propuesta consolidada con respaldo científico, político y económico que favorezca los procesos planteados en términos de mejoras.

# Objetivos

## Objetivo General

Establecer un plan de optimización de los servicios de internet en los establecimientos educativos oficiales en los municipios no certificados del departamento de Antioquia, basados en criterios de cobertura, recursos y eficiencia del sistema.

## Objetivos Específicos

- Determinar las características asociadas de acceso a las TIC de los establecimientos educativos oficiales en los municipios no certificados de Antioquia y de esta forma generar un informe con datos asociados al estado del departamento en conectividad.
- Caracterizar las diferentes tecnologías de Internet utilizadas por la Secretaría de Educación de Antioquia en las instituciones educativas y generar con dicha información una base de datos donde se especifique el porcentaje de desconexión según su ubicación geográfica.
- Proponer un plan de mejora para lograr un mayor cubrimiento de Internet en los establecimientos educativos oficiales en los municipios no certificados de Antioquia que carecen de cubrimiento de servicios de telecomunicaciones, de esta forma se podrá realizar un modelamiento que permita determinar diferentes alternativas de cobertura para los establecimientos educativos desconectados.

## Alcance del proyecto

Con el planteamiento del objetivo general del presente trabajo de grado se buscaba contribuir desde el sector académico al análisis de condiciones que se presentan en las instituciones educativas rurales del departamento de Antioquia y que continúan afectando la cobertura de conectividad a Internet.

A partir del acercamiento realizado a algunos establecimientos educativos de Antioquia, fue posible evidenciar que existía la necesidad por parte de las comunidades educativas de acceder a nuevas y mejores oportunidades relacionadas con la virtualidad de contenidos educativos y opciones de apoyo para los procesos de enseñanza y aprendizaje.

Desde una caracterización técnica, por medio de la cual se evaluaban las condiciones de conectividad y parque tecnológico (redes conectividad, energía y equipos disponibles) de estos espacios, se concluía, someramente, que las condiciones geográficas remotas eran desfavorables y, por ende, las instituciones educativas continuarían desconectadas a internet.

El sector gobierno, por su parte, se ha visto limitado en plantear nuevas alternativas debido a los costos que implica la conexión satelital como única opción. Adicionalmente, los estudios de conectividad realizados hasta el momento resultaban superficiales, pues no lograban abarcar de forma detallada los diferentes componentes para el planteamiento de alternativas viables, tanto en términos de costo para el gobierno, como de ventajas para las comunidades educativas.

Es por esto, que desde el área de ingeniería se busca contribuir con estudios y análisis de la problemática en el departamento para sumar esfuerzos que permitan mejorar dichas condiciones en las zonas rurales.

# Metodología

Para esta tesis se usó la investigación científica como proceso social de descubrimiento, verificación de hipótesis no suficientemente probadas, para garantizar el desarrollo de la ciencia. El propósito de este tipo de investigación es acercarse a nuevas alternativas para indagar sobre las opciones de transformación de la realidad social o natural con propuestas planteadas desde la ciencia y la tecnología.

El enfoque sugerido según el libro de Metodología de la Investigación [10] es la investigación aplicada o tecnológica, la cual busca dar resolución a problemas asociados a la actividad humana que tienen relación, entre otras cosas, con el consumo de bienes y servicios en temas de infraestructura, comunicaciones, etc. Su nombre se deriva a que el producto no es conocimiento puro, sino que es de carácter tecnológico [10].

Esto, a su vez, plantea que cualquier disciplina práctica es aplicable al enfoque siempre y cuando desarrolle el método científico. Por ello, son clasificadas ramas como la ingeniería eléctrica, electrónica e informática dentro de las que podrían aplicarse para contribuir en el avance de la ciencia y la tecnología.

Se sugiere que el enfoque tecnológico utilice métodos y técnicas diferentes como la observación – reflexión- praxis para, finalmente, generar una reflexión que conlleve a la transformación. Así, desde un enfoque cualitativo de la investigación aplicada o tecnológica, se planteó el problema, se realizó la recolección de datos, el análisis de los mismos, la observación y descripción de fenómenos, y el planteamiento de preguntas para construir la realidad a la que se hará mención a lo largo de la tesis a modo de comprensión de la situación.

# Capítulo 1

## Definición del estado del arte del problema

En la actualidad coinciden diferentes organizaciones y entidades sobre la importancia del acceso a Internet como condición para el desarrollo humano en el siglo XXI. Según afirma la UNESCO, sin conectividad, las personas, empresas y organizaciones enfrentan barreras para participar en las redes económicas y sociales que caracterizan las sociedades modernas [11].

En Colombia se han dado avances en conectividad a Internet. Según el cuarto informe de gestión del saliente Ministro TIC, David Luna <sup>1</sup>, se ha llegado a más de 1.000 municipios con la red nacional de fibra óptica y en el año 2018 se tiene presupuestado llegar a 47 municipios con una red de alta velocidad, los cuales por condiciones geográficas no se conectaron con Fibra Óptica. Particularmente, en Antioquia los municipios que no fueron conectados a fibra óptica fueron Vigía del Fuerte y Murindó, territorios que pertenecen a la subregión de Urabá y no cuentan con infraestructura vial, ni de redes de energía o de telecomunicaciones.

En relación con los avances que se han dado en infraestructura, se proporciona mayor capacidad para el transporte de la información en las cabeceras municipales, permitiendo que cada vez sean más las instituciones educativas urbanas y comunidad en general que cuenten con servicio de Internet por medio de redes de alta capacidad. Sin embargo, en Colombia cerca del 60 por ciento de los establecimientos educativos se encuentran en zonas rurales. Al estar ubicados de una forma dispersa en las regiones, hace que la cobertura existente sea insuficiente y que las inversiones en infraestructura no tengan un retorno económico para los operadores por los pocos usuarios en sectores específicos.

---

<sup>1</sup>Ver informe de gestión en: [http://micrositios.mintic.gov.co/4to\\_informe\\_gestion\\_david\\_luna/](http://micrositios.mintic.gov.co/4to_informe_gestion_david_luna/)

El programa de conectividad nacional para las instituciones educativas oficiales *Conexión Total* muestra en sus indicadores de conexión<sup>2</sup> que el 62.6 por ciento de la matrícula nacional se encontraba conectada a Internet en el 2.017 y se tiene como meta que para el 2.018 se logren conectar 90 por ciento. En la figura 1.1 se referencia esta información.



Figura 1.1: Indicador Conectividad 2017. Fuente: Computadores para Educar [1].

Para el caso específico de Antioquia, donde cerca del 80 por ciento de las instituciones educativas están en la zona rural, se evidencia que un reto importante consiste en implementar estrategias y modelos de conexión para conectar las instituciones educativas rurales (I.E.R.) a Internet, con tecnologías que sean estables, que tengan buen rendimiento y que presupuestalmente sean viables en su sostenimiento en el tiempo.[9]

Dentro del Plan de Desarrollo de la Gobernación de Antioquia -Antioquia Piensa en Grande- para el cuatrienio 2016 - 2019 entregada como anexo 1, se establece el compromiso de explorar nuevas alternativas tecnológicas de Internet para que de esta forma se garantice mayor participación e inclusión, y más oportunidades de hacer viables todos los territorios y llegar a todos lo públicos[12]. En consideración a lo anterior, dentro de los indicadores de producto y metas, la Gobernación de Antioquia en el marco Antioquia Territorio Inteligente tiene como meta conectar 2.450 sedes rurales al servicio de Internet lo cual supone un reto puesto que los actuales medios de transmisión guiados (alámbricos) o no guiados (inalámbrico) que se encuentran estipuladas dentro del anexo técnico del Programa Conexión Total no alcanzan a cumplir estas metas de cobertura.

Otro aspecto importante para tener en cuenta es que en los lineamientos técnicos de conexión total se sugiere que para determinar un ancho de banda en los servicios deben

<sup>2</sup>Ver indicadores del Programa Conexión Total en: <http://www.mineducacion.gov.co/1759/w3-printer-348154.html>

de tenerse en cuenta los rangos y valores expresados en la figura 1.2, la cual expone una velocidad de conexión proporcional al número de terminales simultáneas conectadas en la institución educativa.

RANGO DE TERMINALES SIMULTANEAS	ANCHO DE BANDA	RANGO DE TERMINALES SIMULTANEAS	ANCHO DE BANDA
1 - 7	2 Mbps	78 - 97	40 Mbps
8 - 11	4 Mbps	98 - 124	50 Mbps
12 - 15	6 Mbps	125 - 249	64 Mbps
16 - 19	8 Mbps	250 - 499	128 Mbps
20 - 22	10 Mbps	500 - 749	256 Mbps
23 - 28	12 Mbps	750 - 999	384 Mbps
29 - 38	15 Mbps	1000 - 1464	512 Mbps
39 - 48	20 Mbps	1465 - 1952	750 Mbps
49 - 62	25 Mbps	1953 - 3905	1 Gbps
63 - 77	32 Mbps	> 3905	2 Gbps

Figura 1.2: Ancho de banda sugerido por rango de equipos. Fuente: MEN[2].

Por esto es recomendable que los encargados de proveer el servicio de Internet con los anchos de banda establecidos, tengan claras estas consideraciones expuestas porque cada vez se van a requerir mayores anchos de banda para satisfacer las demandas de los usuarios. Estudios demuestran que la forma como se comunican y transmiten mensajes en la actualidad está en constante evolución.

Referente al creciente uso de tecnología en los ambientes de aprendizaje, desde el Plan Ceibal, que es un proyecto que busca igualdad de oportunidades mediante el uso de tecnología en las instituciones educativas uruguayas, se abordó el interrogante de cuáles serán los futuros escenarios en el uso de tecnología en las instituciones educativas, para este caso se desarrolló un análisis del comportamiento histórico del tráfico de Internet en las instituciones educativas, lo que evidenció un aumento año tras año, tal y como se presenta en la figura 1.3 donde se puede ver el incremento en las descargas de Internet desde el año 2011 al año 2015.

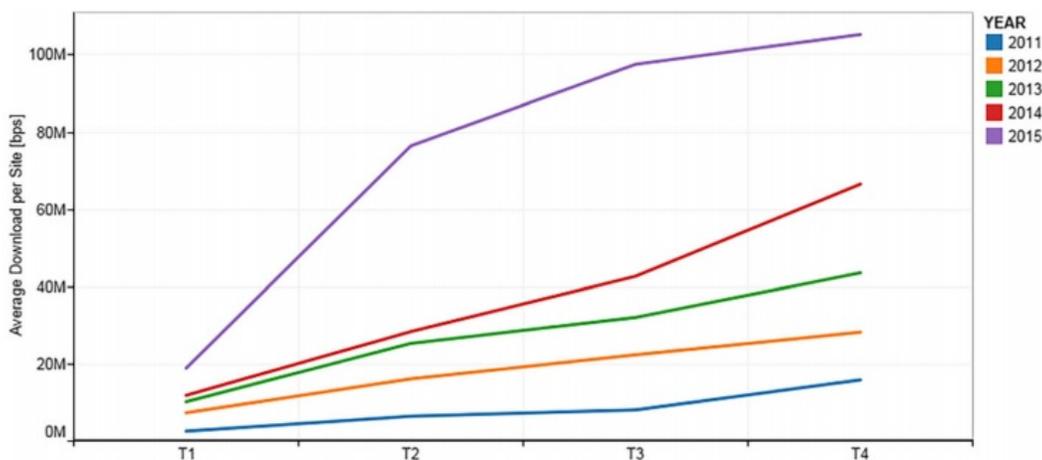


Figura 1.3: Tráfico Global de Internet en Escuelas. Fuente: Plan Ceibal [3].

Considerando que cada año aumentará el tráfico en las redes de telecomunicaciones, para responder a la demanda de los usuarios en el futuro será cada vez más exigente para los medios de transmisión, por eso es necesario contemplar las proyecciones de consumo de contenidos digitales para que se pueda afrontar una las demandas del sector [3].

En línea con el incremento del tráfico del consumo de Internet, desde el MEN, específicamente el programa Conexión Total, se dan lineamientos técnicos para que las conexiones de la instituciones educativas cumplan con ciertos parámetros de calidad en el servicio y alta disponibilidad. Para dar mayor claridad de este punto, a continuación se listan de manera textual los medios de transmisión estipulados y los indicadores de calidad del servicio según el programa Conexión Total:

#### “TECNOLOGÍAS DE ACCESO GUIADO

Son todas aquellas que requieren de la existencia de un medio físico de transmisión que transporte en su interior la información entre los extremos, para el caso de las tecnologías de acceso guiado utilizadas en el despliegue de red fija, se sugieren:

##### XDSL

Para la prestación del servicio de Banda Ancha, un suscriptor se conecta utilizando un par de cobre por medio de un módem el cual se encuentra ubicado en las instalaciones del usuario. La información viaja desde el módem hasta el equipo que concentra más puertos XDSL de los usuarios de la zona y su correspondiente distribuidor que permite la conexión de dichos puertos con la red externa en una única salida (Uplink).

##### RED HFC – HIBRIDAS FIBRA – COAXIAL

Las redes HFC (Híbrido Fibra Coaxial) obedecen a redes de CATV (Community Antenna TV) que se utilizaban para la transmisión de señales de televisión analógica (TV). En la actualidad son sistemas avanzados de transmisión de señales de voz, datos e imágenes con un gran ancho de banda, soportados fundamentalmente por cables de fibra óptica y en menor medida cables coaxiales.

#### RED DE ACCESO EN FIBRA ÓPTICA

Las redes de Fibra Óptica (FO) se tipifican en redes Rurales (o interurbana) y redes Urbanas. Las redes rurales comprenden el conjunto de cables, empalmes, herrajes y demás elementos incluyendo la infraestructura de obras civiles (posteadura, canalizaciones, cámaras, etc.) que se localizan a la salida de los cascos urbanos de las localidades, sobre carreteras nacionales, departamentales o municipales, o sobre predios rurales públicos o privados. Por su parte, la red urbana corresponde a los tendidos del cable de fibra óptica dentro del casco urbano de las localidades, las cuales tienen como objetivo hacer las interconexiones físicas para la Banda Ancha. En aquellos casos en los que el servicio de conectividad se instala y se presta con redes híbridas (HFC), en la que se requiere de una conexión por cable bidireccional, se deben cumplir las siguientes condiciones por parte del Contratista.

#### TECNOLOGÍAS DE ACCESO NO GUIADO

Son todas aquellas que no requieren de la existencia de cableado para la transmisión de la información entre los extremos, algunas permiten la movilidad sin perder comunicación. Su funcionamiento consiste en radiar energía electro magnética por medio de una antena o transmisor y luego se recibe esta energía con otra antena o receptor, para el caso de las tecnologías de acceso no guiado utilizadas en el despliegue de red, se sugieren:

#### ENLACES SATELITALES

Los enlaces satelitales se conforman de tres etapas, dos ubicadas en las estaciones terrestres para los enlaces de subida o bajada y la tercera en el espacio, donde la señal de subida cruza por el transpondedor del satélite y regresa a la tierra a una menor frecuencia con la que fue transmitida.

#### INTERNET MÓVIL

Las redes móviles se basan en subdividir áreas geográficas relativamente grandes en secciones pequeñas llamadas celdas. La arquitectura de un sistema móvil está conformada por elementos básicos que son las estaciones móviles (MS) o equipos de abonados y las estaciones bases (BS) consistente en uno o más transceptores y un controlador de estaciones base (BSC) que realiza la parte software. Estas estaciones base están conectadas a los centros de conmutación de móviles (MSC).

## SOLUCIONES INALÁMBRICAS DE DATOS (RED DE ACCESO RADIO TERRESTRE TRAN)

Las redes inalámbricas se tratan de un sistema de acceso a usuarios mediante un canal radioeléctrico y una antena angular que abarca la zona a ser cubierta. El usuario final dispone de una movilidad reducida dentro de la zona de cobertura.

Estos sistemas inalámbricos se aplican especialmente en la transmisión de datos. En esta topología la red se divide en dos secciones, el segmento de CORE, donde los elementos de red están ubicados normalmente en las instalaciones propias del operador, y el segmento TRAN (RAN), que está conformada por todos los elementos de acceso.

En la Red TRAN Terrestrial Radio Access Network (Red de Acceso Radio Terrestre) el acceso al núcleo de red (CORE) se realiza vía radio, a través de una serie de elementos de red interconectados entre sí y con el núcleo de red mediante interfaces de transporte terrestres. En el caso de hacer uso de tecnologías en la red de transporte del tipo inalámbricas, estas deberán ser en bandas licenciadas.

Si se utiliza banda libre, solo se aceptan sistemas en la banda de 5.8 GHz, en los que se garantice línea de vista óptica total y línea de vista eléctrica con al menos el 60 por ciento libre en la primera zona de Fresnel, asegurando un margen de desvanecimiento superior al 10 por ciento de la sensibilidad del equipo. Todo lo anterior cumpliendo con la regulación nacional vigente de MINTIC. No se permite en esta red, equipos en banda UNII de 2.4 GHz.” [2].

Es importante que los medios de transmisión existentes en el mundo y que pretendan incorporarse en Colombia para conectar las instituciones educativas oficiales, se adapten a lo establecido por el MEN. Así como es necesario contemplar aspectos técnicos, también es importante tener en cuenta el marco regulatorio de la Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC), que a partir del año 2019 modificará la definición de banda Ancha, la cuál quedará de la siguiente manera: ”BANDA ANCHA: Es la capacidad de transmisión cuyo ancho de banda es suficiente para permitir, de manera combinada la provisión de voz, datos y video, ya sea de manera alámbrica o inalámbrica.” [13].

Además, las conexiones de más de 50 megabits por segundo van a ser denominadas como Ultra Banda Ancha. Esto quiere decir que las conexiones que quieran vender los operadores como Banda Ancha tendrán que ser de mínimo 25 megabits por segundo. Partiendo de esto, se hace un estudio de diferentes proyectos pilotos y tecnologías que operan en las zonas rurales donde se dificulta el despliegue de infraestructura de telecomunicaciones para conocer su funcionamiento.

### Globos aerostáticos:

En el proceso de investigación de proyectos que usan este tipo de tecnologías, se encontró el Proyecto Loon de Google, el cuál se compone de una red de globos que viajan sobre el límite con el espacio exterior, a una altura promedio de 30 kilómetros y con la cual se puede proporcionar conectividad en un rango aproximado de 40 kilómetros de diámetro. Esto hace posible conectar comunidades que habitan en zonas remotas, tener un servicio de conectividad operativo en caso de catástrofes y lograr cobertura en zonas apartadas y de difícil acceso.

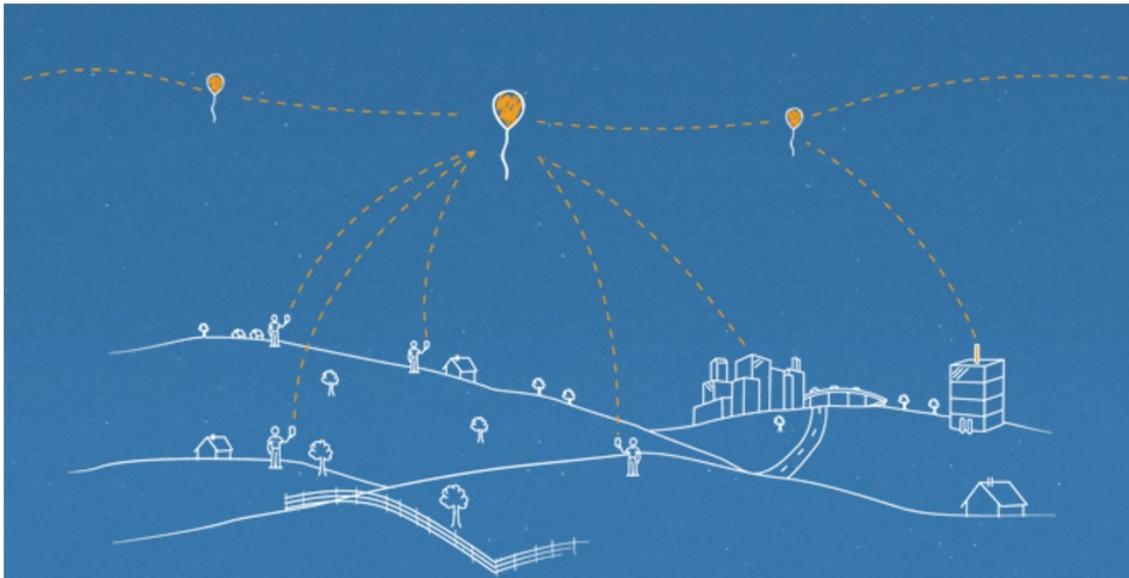


Figura 1.4: Red de globos aerostáticos del proyecto Loon de Google. Fuente: Project Loon.

Las pruebas piloto comenzaron con globos estacionados en el paralelo 40 sur, brindando una cobertura parcial en países ubicados en este hemisferio como Argentina, Chile, Nueva Zelanda y Australia; posteriormente se realizaron pruebas en el nordeste de Brasil y en California; y con base en estas pruebas realizadas, se están aplicando mejoras para próximas etapas del proyecto.

Proveer de Internet a estos globos es posible ya que son alimentados por una conexión suministrada por un ISP (Internet Service Provider) que, a su vez, permite que la señal de Internet llegue a las antenas receptoras en la tierra y se estima que el tiempo de obsolescencia es aproximadamente de 2 años

Estos globos se componen de la parte inflable que se llena de helio y que permite que el globo se eleve, los paneles solares que proveen energía y una pequeña caja electrónica donde se encuentra un GPS, sensores, baterías, radio antena y un computador. Sus componentes pueden verse en la figura 1.5

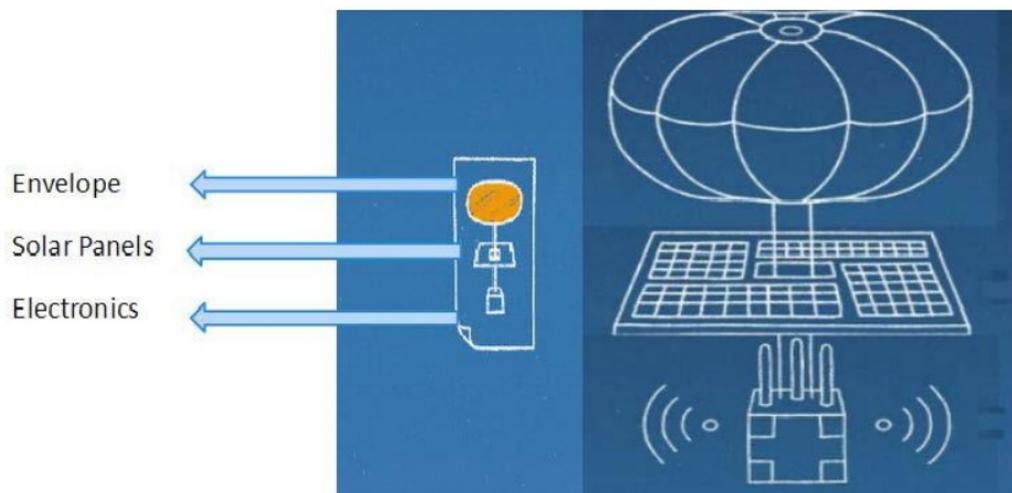


Figura 1.5: Diseño Globos. Fuente: Project Loon.

En el contexto local, Colombia también ha apostado a propuestas innovadoras en este campo, realizando el lanzamiento de 3 globos aerostatosféricos en una estación base ubicada en el Cerro Verde, corregimiento de Santa Elena, Antioquia. Estos globos estuvieron a 30.000 metros de altura aproximadamente y fueron aplicados 3 experimentos científicos propuestos por estudiantes de secundaria del municipio de Medellín, que fueron: Detector de rayos cósmicos, microalgas y microorganismos tardígrados que soportan condiciones extremas en el ambiente espacial.

Conjuntamente, se proyectó la posibilidad de analizar el comportamiento de los elementos electrónicos en ambientes extremos que se presentan a esta altura. De ser satisfactorias las pruebas, será posible en el futuro dotar estos globos con equipos de telecomunicaciones y suministrar servicios de Internet banda ancha. Estos desarrollos se dan dentro del Plan de Ciencia, Tecnología+innovación (CT+i) del proyecto Medellín espacial[14].

Con el desarrollo de la ciencia y tecnología espacial en la región antioqueña, se da un posicionamiento en esta industria a nivel latinoamericano y se aprovechan las oportunidades que brinda el espacio con la implementación y puesta en órbita de los globos en mención. Estos avances tendrán una gran probabilidad de dar conectividad a los lugares que, hasta el momento, no tienen acceso.

Sin embargo, se han generado diferentes preguntas con respecto a la operatividad de esta tecnología, debido a que el tiempo de vida de un globo en condiciones normales es de 2 años y se puede pensar que demandaría un gran esfuerzo enviar globos de forma indefinida a la estratosfera terrestre. Otra duda que se presenta es que para generar una cobertura de

las zonas alejadas que están sin Internet, debería ser una cantidad importante de globos los que deberían de operar simultáneamente [15].

Estas son algunas de las problemáticas que se han generado después de estudios realizados a este tipo de tecnología y son aspectos que representan un gran esfuerzo de una atención continua para un adecuado sostenimiento de toda la operación.

### **Tecnología satelital en banda KA:**

En el espectro electromagnético, la banda KA transmite entre 26.5 y los 40 GHz y permite acceder a Internet de alta velocidad, esto ha permitido a los proveedores de Internet incrementar la capacidad satelital reduciendo el costo por bit, lo que se traduce en un servicio al mayor alcance en términos económicos para los usuarios.

Los servicios satelitales convencionales abarcan un amplio rango de cobertura, mientras que los que utilizan la banda KA tiene un despliegue de su señal menor de 125.000 kilómetros cuadrados aproximadamente por estar a una menor altura de la tierra, lo que permite concentrar la potencia de la señal y reutilizar las frecuencias.

Dadas estas condiciones, se requieren equipos en tierra de menor potencia, lo cual se traduce en un menor costo de instalación, mantenimiento y sostenimiento general del servicio.

En Latinoamérica, México fue el primer país en introducir el uso de banda KA, esta tecnología ofrece un importante potencial para aumentar las posibilidades de acceso y la penetración de banda ancha en la región.

Actualmente se está brindando una cobertura parcial en Colombia con planes de ampliarse gradualmente. Las primeras regiones del país que cuentan con este tipo de recepción satelital, son el Eje Cafetero, Tolima, Cundinamarca, Huila, Valle del Cauca, Chocó y Antioquia (parcialmente subregión Oriente y Suroeste), como se puede visualizar en la siguiente imagen:

Se tiene planificado contar con un mayor cubrimiento en otras regiones del país, permitiendo contemplar el Internet satelital de banda KA como una alternativa real para llevar la banda ancha a los lugares donde la infraestructura de Telecomunicaciones no ha llegado.

Indagando sobre el uso de esta tecnología en entornos rurales, se encontró que la Comisión Interamericana de Telecomunicaciones - Citel - (Organización asesora de la OEA para asuntos de TIC) recomienda a los gobiernos tener en cuenta esta tecnología para la inclusión de población en la red de Internet por su buen funcionamiento en países de la Unión Europea y Estados Unidos.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup>Información disponible en: Comisión Interamericana de Telecomunicaciones, Available: <https://www.citel.oas.org/es/Paginas/default.aspx>



Figura 1.6: Cobertura de banda KA en Colombia. Fuente: BANSAT.

No obstante, aunque se ha anunciado la ampliación de la cobertura por parte de los operadores que tienen licencia para transmitir por estas frecuencias en Colombia, no se ha dado un avance en este tema, impidiendo que muchos de los establecimientos educativos rurales no puedan obtener estos servicios y representando una limitación considerable para esta tecnología.

También se exploraron diferentes soluciones con el uso de esta tecnología en otros países, encontrando el Plan de Conectividad de Escuelas Rurales que actualmente conecta escuelas rurales a Internet y televisión digital abierta a través de antenas satelitales en Argentina. Desde el plan hacen mención sobre el satélite Arsat-2 que es el que provee de Internet a estas escuelas y lo que permite alcanzar a algunos de los establecimientos rurales de mayor complejidad de acceso. Este proyecto tiene por objetivo contribuir al desarrollo social, educativo, económico y de infraestructura en regiones del país que se encuentran aisladas o excluidas [16].

### Television White Spaces (TVWS):

También conocido con el estándar IEEE 802.22, las redes implementadas con este estándar son denominadas WRAN (Wireless Regional Area Networks). La característica principal de la tecnología es que tiene un amplio radio de cobertura y puede llegar a más de 8 kilómetros de diámetro y velocidades de 22 Mega bits por segundo [17].

Aunque se cuenta con una disponibilidad de espectro suficiente para dar coberturas a las I.E.R. ubicadas en zonas lejanas, es necesario un modelo de optimización y eficiencia en el uso de las frecuencias disponibles, como también tener disponibilidad de acceso a la red de un proveedor de servicio para que desde este punto se irradie el Internet a un rango de cobertura determinado. Además de esto, en Colombia el marco regulatorio para la expansión de esta tecnología está en proceso.

En Colombia se ha dificultado el cumplimiento de las metas de conectividad debido a que las diferentes tecnologías disponibles presentan importantes limitaciones para conectar un número significativo de establecimientos educativos rurales. Según un estudio realizado entre la Fundación Universidad Autónoma de Colombia (FUAC) y la Agencia Nacional del Espectro (ANE) a través del Semillero de Investigación en Telecomunicaciones y Electrónica (SITEL) de la FUAC; se afirma que el espectro radioeléctrico que provee conexiones de banda ancha, se encuentra asignado a nivel nacional, pero el despliegue y cobertura de las redes móviles no llega a todas las zonas rurales del territorio Colombiano [18].

Teniendo en cuenta estas limitaciones de cobertura, desde la ANE se están realizando estudios de tecnologías que puedan tener bajo costo en la operación e implementación; una amplia cobertura y mayor velocidad en la conexión [19]. Según esta agencia nacional, en el 99 por ciento de los municipios de Colombia la TV utiliza sólo 10 de los 48 canales disponibles [19], por lo que hay una gran cantidad de espacio subutilizado, que de ser usado permitiría un mejor aprovechamiento del espectro electromagnético disponible.

Para este efecto, se han realizando proyectos piloto con este medio de transmisión en diferentes regiones del país con el fin de brindar conectividad a establecimientos educativos rurales en zonas alejadas. A continuación se dan a conocer algunas características de estos pilotos:

- Departamento de la Guajira, en el municipio Dibulla, se conectó la I.E.R. La Punta de los Remedios.
- Departamento Norte de Santander, en el municipio de Pamplonita, se conectó la I.E.R. Los Páramos.
- Departamento Caldas, en el municipio de Aguadas, se conectó la I.E.R. Rioarriba.

Según los resultados que se han dado de los estudios realizados, la ANE recomienda privilegiar el uso de espacios en blanco en áreas rurales donde existe mayor disponibilidad de espacios en blanco y mayores necesidades de espectro para permitir el acceso de la población a las comunicaciones en zonas apartadas [18]. Además, después de obtener resultados de los pilotos desplegados en estas 3 instituciones educativas, la ANE afirma que se ha demostrado buen desempeño de la tecnología TVWS y su utilidad como apoyo a la educación [19].

Si bien los contextos en otros países pueden tener diferencias, se toman como referencia proyectos a nivel mundial que han tenido impacto en instituciones educativas rurales sin cobertura de Internet y que pueden ofrecer información para tener en cuenta en una eventual implementación y uso de esta tecnología en Colombia.

### Uruguay – Plan Ceibal:

El Plan Ceibal, proyecto que proporciona tecnologías digitales en los ambientes de aprendizaje de las instituciones educativas uruguayas con la intención de mejorar el acceso a Internet en los entornos rurales; ha investigado acerca de la tecnología TVWS desde el año 2013.

Desde el componente de tecnología del Plan Ceibal, afirman que en teoría, la operación en frecuencias más bajas permite alcanzar mayores distancias y sin la necesidad de instalar enlaces punto a punto con línea de vista, lo cual se ve traducido en una gran ventaja para mejorar la conexión de instituciones educativas rurales.

El Plan Ceibal conectó 4 instituciones educativas rurales a esta tecnología con el fin de evaluar los parámetros de calidad de servicio como velocidad de conexión, latencia, estabilidad del canal y la percepción del usuario; de esta forma podría determinarse si esta tecnología satisface las necesidades del contexto [20].

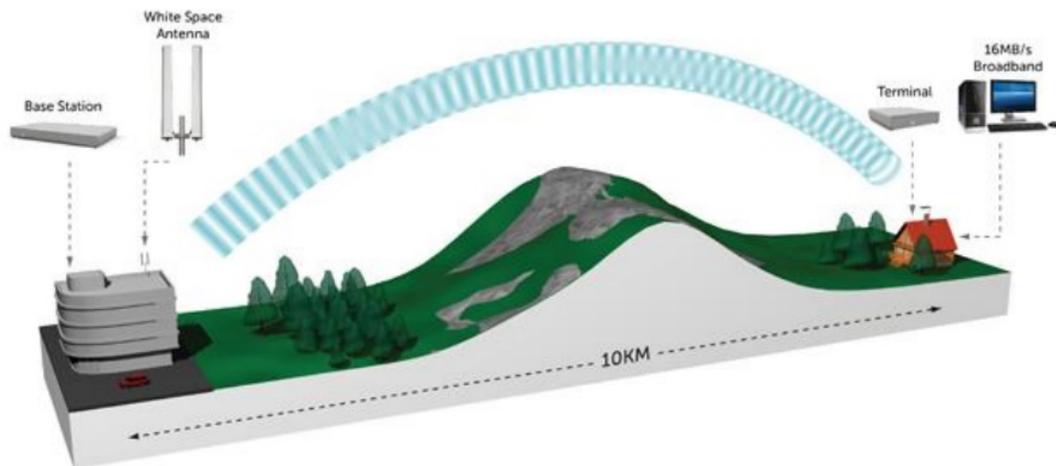


Figura 1.7: Piloto TVWS. Fuente: Plan Ceibal.

### Sudáfrica – MERAKA Institute:

Para el estudio de este caso, se estableció contacto con el investigador Moshe Masonta del MERAKA Institute donde se desarrollan investigaciones en el sector TIC y quien ha liderado las investigaciones relacionadas con tecnologías inalámbricas.

Según el testimonio de este investigador, para el proyecto piloto que se implementó en este país se instaló una radio base en la que por medio de la tecnología TVWS se

conectaron 5 instituciones educativas rurales que se encuentran a una distancia aproximada de 10 kilómetros.

Para cada sitio se entregaron 31 tabletas y 1 smartphone para evaluar el comportamiento del servicio. Según el ancho de banda dispuesto variaba entre 5 a 10 Mbps, con estas características técnicas se conectaron por primera vez estos lugares que antes no contaban con servicio de Internet por falta de cobertura, lo que según los reportes del MERAKA Institute, representó igualar las condiciones técnicas de las instituciones educativas urbanas versus las rurales y ofrecer nuevas oportunidades de acceso a información y conocimiento [21].



Figura 1.8: Piloto TVWS South Africa. Fuente: IEEE Spectrum[4]

Las conversaciones con el personal científico del instituto, dejó como resultado la posibilidad de trabajar articuladamente en el desarrollo de futuros estudios y aplicación de trabajos en campo con esta tecnología. Es importante tener en cuenta esta oportunidad de que una comunidad académica y científica con experiencia en este tema contribuya en la región de Antioquia.

## Capítulo 2

# Conectividad en I.E.R. oficiales en Antioquia

Antioquia es un departamento de Colombia ubicado en la región Andina, cuenta con 125 municipios de los cuales está dividido en 9 subregiones que son llamadas: Urabá, Suroeste, Nordeste, Norte, Oriente, Occidente, Valle de Aburrá, Magdalena Medio y Bajo Cauca.

La Gobernación de Antioquia, por medio de su Secretaría de Educación administra, apoya y asiste técnicamente a 117 municipios en el departamento que son categorizados como municipios no certificados, los 8 municipios restantes son certificados, lo que quiere decir que administran sus propios recursos para Educación, estos municipios son: Medellín, Bello, Envigado, Sabaneta, Itagüí, Turbo, Apartadó y Rionegro.

Es por esta razón que este proyecto se enfoca en las instituciones educativas de carácter oficial en los municipios no certificados del departamento, teniendo en cuenta que las bases de datos son suministradas por la Secretaría de Educación de Antioquia. Sin embargo, los resultados que se pretenden presentar, son aplicables también en otros contextos del departamento y del país.

En Antioquia se cuenta con 4282 sedes educativas de carácter oficial según el reporte de la Secretaría de Educación, de las cuales 3839 están ubicadas en zona rural y 441 están en el casco urbano, como se representa en la figura 2.1

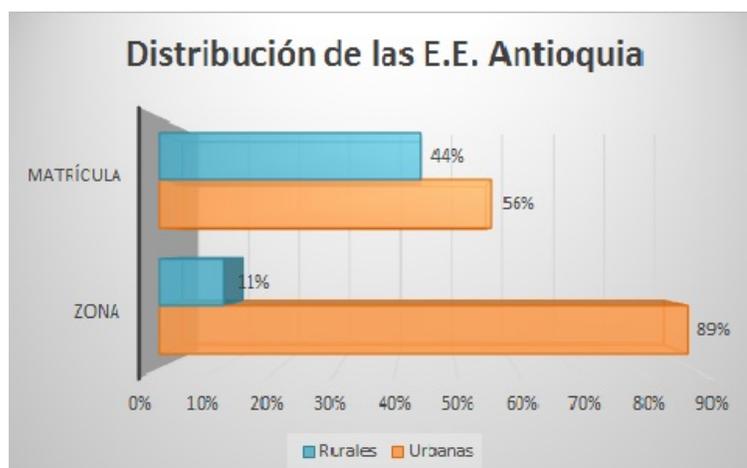


Figura 2.1: Zonas de los establecimientos educativos oficiales en Antioquia. Fuente: Base de datos Secretaría de Educación de Antioquia.

Solo un 11 por ciento de los establecimientos educativos están ubicados en zonas urbanas. Se puede afirmar que en el casco municipal no se tienen grandes retos para tener un servicio de Internet que brinde conectividad a la comunidad educativa, gracias a que el proyecto Nacional de Fibra óptica se ha expandido la red de fibra óptica permitiendo que cada vez sean más las instituciones educativas urbanas que cuenten con servicio de Internet por medio de redes de alta capacidad.

El total de la matrícula<sup>1</sup> conectada en los establecimientos educativos que pertenecen a la Secretaría de Educación de Antioquia es de 475.233 estudiantes y se encuentran distribuidos en 269.193 en la zona urbana y 206.040 en la zona rural. Teniendo en cuenta esto se puede decir que con la conexión del total de las sedes educativas en la zona urbana se tiene mayor población favorecida, sin embargo es necesario incrementar esfuerzos para conectar el 44 por ciento restante correspondiente a la matrícula en la zona rural.

La información anterior solo da cuenta de la ubicación física de cada uno de los establecimientos educativos y de la distribución de sus estudiantes; entrando a evaluar cuales son las instituciones educativas que cuentan con cobertura del servicio de conectividad en contraste a las que no, se puede segmentar por subregiones y ver que cada una tiene condiciones diferente, así se puede afirmar que entre más instituciones educativas rurales es mayor el índice de desconexión. En la figura 2.2 se muestra información relacionada.

En la figura 2.2 se muestra que la subregión de Oriente es la que tiene más instituciones educativas rurales lo cual es directamente proporcional al mayor número de desconexiones, mientras que la subregión del Valle de Aburrá es la que cuenta con menor número de instituciones educativas desconectadas porque tiene menos instituciones educativas rurales.

<sup>1</sup>Matrícula es la cantidad de estudiantes registrados en cada plantel educativo con fecha de cohorte noviembre 30 de 2016.

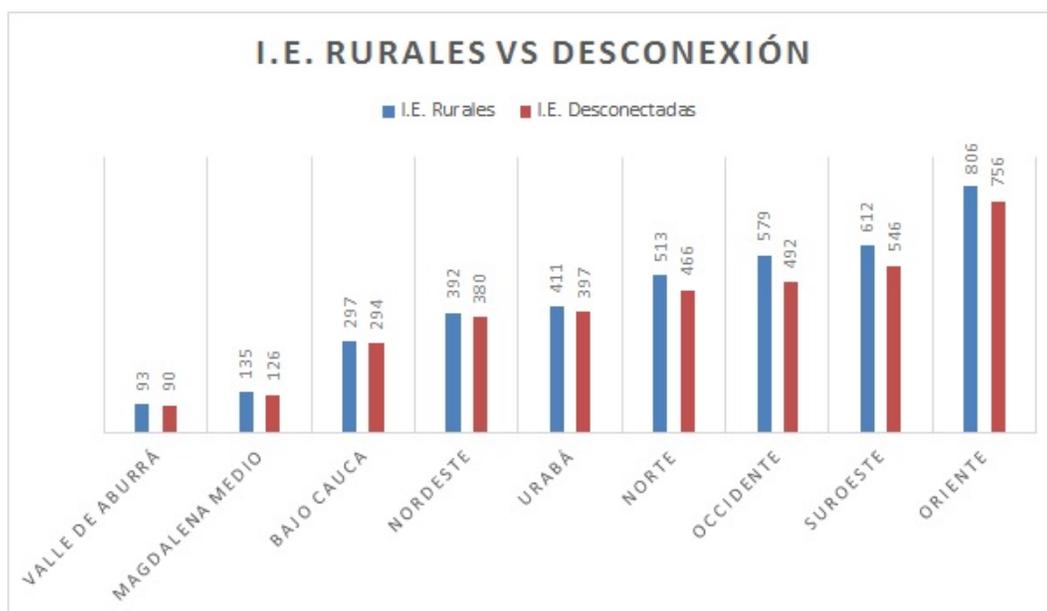


Figura 2.2: I.E. Rurales Vs desconexión. Fuente: Base de datos Secretaría de Educación de Antioquia.

En orden de prioridad para un posible piloto en el departamento en Antioquia, se puede decir que de la subregión con mayor número de desconexión -Oriente- Sonsón es el municipio con mayor número de instituciones educativas rurales desconectadas lo cual indica que una intervención en este sitio específico representaría un beneficio directo para las instituciones educativas que no son favorecidas con el suministro de estas tecnologías. Las cifras se detallan en la tabla 2.1.

Para lograr el cumplimiento de objetivos dirigidos al mejoramiento en la cobertura de Internet, es fundamental la articulación de diferentes actores, perfiles interesados en invertir recursos en el mejoramiento de conectividad, no sólo en aspectos de presupuesto económico, sino también en la disponibilidad de capital humano abierto a innovar, investigar y capacitarse.

Ante esa realidad puede afirmarse que existe una brecha digital que divide a la población rural de los recursos mundiales de información y conocimiento dispuestos en línea; por este motivo es que la limitación de las tecnologías tradicionales de banda ancha obliga a plantear nuevas alternativas para llevar Internet a lugares sin cobertura. Y si bien los esfuerzos del Gobierno Nacional, en cabeza del Ministerio TIC, están dirigidos en parte a mejorar la cobertura y proveer de acceso público a Internet a comunidades con más de 100 habitantes en centros poblacionales rurales, dicho objetivo no impacta aún a todos los establecimientos educativos rurales.

Tabla 2.1: I.E.R. desconectadas por municipio en Oriente. Fuente: Base de datos Secretaría de Educación de Antioquia.

<b>MUNICIPIO</b>	<b>CANTIDAD I.E. SIN CONEXIÓN</b>
SONSÓN	98
COCORNÁ	69
ABEJORRAL	67
SAN CARLOS	64
SAN RAFAEL	51
NARIÑO	48
EL CARMEN DE VIBORAL	47
ARGELIA	45
GRANADA	42
MARINILLA	41

Adicionalmente, teniendo en cuenta que el Gobierno Nacional propuso dar cumplimiento a un Plan de Nacional de Electrificación y Conectividad Rural es fundamental articular esfuerzos que fomenten el estudio de problemáticas y disciplinas que apoyen el desarrollo de redes de telecomunicaciones en la ruralidad. Colombia ha tenido grandes avances en conectividad, reflejo de esto es la llegada de la red de fibra óptica a más de 1.000 municipios del país, lo que se traduce en mayor capacidad para el transporte de información y apertura a que otros establecimientos educativos urbanos cuenten con servicio de Internet por este medio.

No obstante, aunque en el casco urbano existen dichas posibilidades, la zona rural presenta un atraso significativo. Frente a este panorama el reto es encontrar una alternativa viable para conectarlas a Internet con tecnologías estables, con buen rendimiento y viables presupuestalmente para su sostenimiento en el tiempo.

Las instituciones educativas oficiales en los municipios no certificados de Antioquia, son conectadas por diferentes tecnologías que permiten la configuración de diferentes características técnicas de los servicios, como latencia, estabilidad y disponibilidad.

Durante el año 2016, el mayor número de instituciones educativas en Antioquia fueron conectadas con recursos de Conexión Total, desde este programa, se dan lineamientos y se brinda una asistencia técnica para que se garantice la mayor calidad posible del servicio de conectividad en los establecimientos educativos oficiales del país. Las secretarías de

educación certificadas y los operadores de telecomunicaciones son actores fundamentales para el cumplimiento de los lineamientos y objetivos del plan.

Las sedes educativas que se vayan a conectar por parte del ente territorial, deben cumplir los criterios que se expresan de forma literal en el anexo técnico del programa Conexión Total. Son los siguientes:

- La sede o institución cuenta con equipos de cómputo disponibles para los estudiantes y los mismos son funcionales.
- La sede o institución cuenta con un espacio destinado como sala de sistemas.
- La sede o institución cuenta con la infraestructura adecuada para la instalación del servicio de conectividad.
- La sede o institución pertenece a la secretaría de educación de la entidad Contratante.
- La sede o institución no cuenta con conectividad dada por otro tipo de programa.
- La sede o institución no ha sido fusionada.
- La sede o institución se encuentra en servicio y activa para la comunidad educativa
- La sede o institución cuenta con rutas de acceso y en la zona no existe alteración del orden público.
- La sede o institución cuenta con servicio de energía eléctrica.[2]

En caso de que una sede o institución no cumpla con los criterios, no puede ser conectada con los recursos del programa; después de tener definidos los establecimientos que se van a favorecer, el ISP (Internet Service Provider) debe garantizar una operación efectiva del servicio durante la operación, monitoreo y administración remota, sistemas que permitan seguimiento a los ANS (Acuerdo de nivel de servicio), garantizar el soporte en sitio con personal técnico con experiencia en las diferentes tecnologías a ser implementadas para el servicio de conectividad y generar los reportes mensuales de la administración y operación de los servicios de conectividad.

Dentro de los lineamientos técnicos del programa Conexión Total, se tienen definidas ciertas especificaciones técnicas con las que deben cumplir los servicios de conectividad, de forma general se puede decir que el reuso de acceso que se debe establecer entre 1:1 y 1:10; otra condición técnica que es obligatoria y que debe realizarse sin excepción es que en todas las sedes o instituciones educativas, es la gestión de seguridad correspondiente para la configuración de la detección, filtro, clasificación, eliminación y bloqueo de contenidos perjudiciales para menores de edad. El ISP deberá dar cumplimiento a lo señalado en el Capítulo II de la ley 679 de 2001.

Otra de las condiciones técnicas que son solicitadas para los servicios de Internet en las sedes o instituciones educativas conectadas con recursos de Conexión Total, es la aplicación de políticas de calidad del servicio (QoS) y listas de acceso para priorizar tráfico, como también configuración de una dirección IP estática para cada uno de los servicios.

Las tecnologías aplicables para las sedes o instituciones educativas a conectar son xDSL, Internet Móvil, Enlaces Satelitales, Enlaces de cable y Radio enlaces, adicionalmente se dan algunas recomendaciones con respecto al ancho de banda configurado, desde el programa Conexión Total se sugieren rangos de equipos para establecer la velocidad, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2.2: Ancho de banda sugerido. Fuente: Programa Conexión Total.

<b>RANGO DE EQUIPOS</b>	<b>ANCHO DE BANDA</b>
1 -5	1 Mb
6-20	2 Mb
21-49	4 Mb
50-89	6 Mb
90-119	10 Mb
120-350	20 Mb
De 351 en adelante	32Mb

En el documento donde se describen los lineamientos técnicos para la conexión de las instituciones educativas con los recursos de Conexión Total, se establecen ciertos ANS en el cual se procura garantizar la calidad y disponibilidad del servicio, estos acuerdos son establecidos dependiendo del tipo de tecnología y del reuso de acceso configurado.

Entrando a profundizar sobre las tecnologías y el ancho de banda que se brinda en las instituciones educativas podemos decir que en la zona urbana se conectan a fibra óptica con un promedio de velocidad<sup>2</sup> de 30 Mbps con reuso de 1:3; mientras que las instituciones educativas rurales son conectadas por UMTS tienen una velocidad promedio de 786 Kbps y las de Internet Satelital 801Kbps.

Durante el mes de febrero del año 2017, la Agencia Nacional del Espectro [19] realizó un encuentro donde se dieron a conocer las necesidades de expansión de la infraestructura de telecomunicaciones para las zonas rurales, teniendo en cuenta que las alternativas actuales que se tienen para conectar a Internet en estos territorios no son suficientes. De dicho encuentro se tomó la figura 2.3.

<sup>2</sup>El promedio de velocidad se generó de las bases de datos de la Secretaría de Educación verificando el ancho de banda de las instituciones educativas conectadas con determinadas tecnologías.

### Alternativas actuales:



#### **Cable / Fibra óptica:**

Difícil despliegue. Alto costo para cubrir poblaciones dispersas.



#### **2.4GHz / 5GHz libre:**

Alcance limitado. No hay comunicación si hay obstáculos en el camino.



#### **Satelital:**

Bajo ancho de banda. Muy alto costo.



#### **Microondas licenciadas:**

Solución sobredimensionada. Pago anual por uso de espectro.



#### **Móvil**

Alto costo para servir poblaciones dispersas

Figura 2.3: Alternativas de conexión actuales en zonas rurales. Fuente: Agencia Nacional del Espectro.

Teniendo en cuenta la información expuesta, se realizó una verificación de los costos del servicio de Internet Satelital donde no existe otra tecnología disponible en la zona y se puede ver que resulta presupuestalmente insostenible en el tiempo, pues cada punto de conexión costaría aproximadamente 30 millones de pesos al año, esta cifra es un promedio de los costos facturados por la Secretaría de Educación de Antioquia a diferentes proveedores del servicio en el año 2015, teniendo en cuenta el precio de 12 meses de servicio y los derechos de instalación.

Se podría decir que estos establecimientos educativos rurales tendrían buenos resultados y mejoramiento de la calidad educativa sin servicio de Internet como ocurría años atrás, sin embargo se ha evidenciado que los docentes utilizan de una forma frecuente y regular los recursos tecnológicos dispuestos en la institución, en un estudio revelado por la Universidad de Oviedo en España, se afirma que el 86 por ciento del profesorado encuestado declara utilizar las TIC para que los estudiantes realicen búsquedas de información en Internet y alrededor del 78 por ciento las usan para proponer ejercicios on-line a sus alumnos [22].

Para conocer la importancia y el uso del Internet por parte de la comunidad educativa rural en el contexto del departamento de Antioquia, la Periodista Ana Isabel Mejía realizó una entrevista a la directora de la Institución Educativa Rural El Edén en el municipio

de Granada<sup>3</sup> para indagar sobre cómo las tecnologías de información y comunicaciones, específicamente el Internet, puede apoyar en los procesos de enseñanza y aprendizaje.

La Directora Flor María López Botero quien fue nombrada en 2006 y desde entonces ha estado en El Edén, cuenta que siempre ha estado interesada en la educación y esto se ve reflejado en su formación como Normalista Superior, Licenciada con énfasis en matemáticas, Magister en Ciencias Naturales y Matemáticas de la Universidad Pontificia Bolivariana.

Asegura que esta institución ha afrontado dificultades que se han ido solucionando paulatinamente, después de que el municipio viviera situaciones complejas de violencia y desplazamiento forzoso, la vereda comenzó un proceso de recuperación que permitió sanar el sufrimiento causado en años anteriores. La docente, además de retomar actividades académicas en la institución, fue testigo del retorno de familias a la vereda y de la normalización de actividades en la zona.

Ya en un contexto de posconflicto, las oportunidades fueron llegando a la institución. El proceso de conexión a Internet del Centro Educativo Rural El Edén se dio en el marco del proyecto Antioquia Digital bajo la Gobernación de Sergio Fajardo Valderrama.

Sobre esta experiencia, la Directora dio los siguientes testimonios:

“Hicimos una labor extraordinaria donde los estudiantes tenían la posibilidad de hacer investigación y teniendo en cuenta que nosotros trabajamos bajo la metodología de Escuela Nueva, los niños usaban unas cartillas y accedían a información cuando lo requerían. Cualquier consulta podían hacerla estando conectados a Internet, tenían respuestas a la mano y de forma oportuna.

Adicionalmente, impactó a los adultos porque con la llegada de la dotación de Antioquia Digital, también llegó el acompañamiento constante a docentes, estudiantes y padres de familia. Al recibir la capacitación pudimos abrir jornadas para formar a los adultos de la vereda, lo que resultó significativo para la comunidad”

Este testimonio evidencia que el servicio de Internet beneficia los procesos educativos de la comunidad educativa. Actualmente esta institución se encuentra desconectada y por esta razón es necesario pensar en alternativas que puedan posibilitar una tecnología para conectar las zonas rurales alejadas que permita un despliegue de la infraestructura con mayores facilidades a las otras alternativas, que tengan un bajo costo en la implementación y en la operación del servicio.

En la figura 2.4 se puede ver un aula digital, espacios diseñados estratégicamente por el programa Antioquia Digital el cual era dotado de mobiliario, computadores, servicio de Internet y una red inalámbrica; espacios en los que se ponían a disposición las tecnologías digitales para la realización de diferentes actividades con la comunidad educativa, lo que comprende trabajos en clase con los estudiantes, o jornadas de capacitación con los padres de familia y directivos de la institución.

---

<sup>3</sup>La entrevista se entrega como documento anexo de la tesis.



Figura 2.4: Aula Digital. Fuente: El Colombiano[5]

Es necesario pensar en estos territorios y trabajar para que lleguen las oportunidades tecnológicas que según el especialista el Tecnología y Educación, Javier Torres, menciona que es necesario enfocar esfuerzos en conectar a los estudiantes con ideas globales y potencializar las actividades de aprendizaje y enseñanza en el aula con el uso de Internet ya que sin este servicio la tecnología en el aula solo cumple con el 50 por ciento del propósito [23].

Después de analizar las diferentes tecnologías y demos que se han realizado en el mundo y en Colombia con la tecnología TVWS, se puede afirmar que esta tecnología puede reducir esta brecha que se da en la zona rural con respecto al acceso a Internet.

## Capítulo 3

### Caso de estudio - Sonsón

Para lograr el planteamiento de un plan de mejora y lograr un mayor cubrimiento de Internet en los establecimientos educativos oficiales en los municipios no certificados de Antioquia que carecen de cubrimiento de servicios de telecomunicaciones, se comenzó por definir las zonas del departamento en las 9 subregiones antioqueñas<sup>1</sup> donde existiera una cantidad importante de establecimientos educativos rurales desconectados. Así fue verificada la cantidad de establecimientos educativos rurales por cada subregión, obteniendo la figura 3.1.

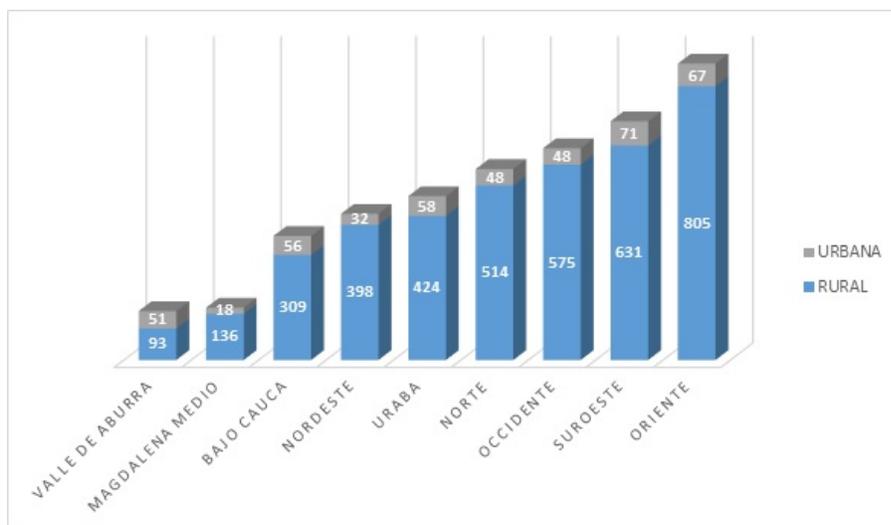


Figura 3.1: Número de E.E. por subregión diferenciando zona rural de la urbana. Fuente: Bases de datos Secretaría de Educación de Antioquia.

<sup>1</sup>Las 9 subregiones de Antioquia son: Valle de Aburrá, Oriente, Occidente, Suroeste, Urabá, Magdalena Medio, Bajo Cauca, Norte y Nordeste.

Según la gráfica generada de las bases de datos de la Secretaría de Educación de Antioquia, la subregión de Oriente es la que cuenta con mayor número de establecimientos educativos desconectados. Considerando esta cifra, se optó por verificar cuales eran los municipios que contaban con mayor número de sedes desconectadas, para lo que se tomaron como referencia los primeros 15 municipios en índice de desconexión, obteniendo la figura 3.2.

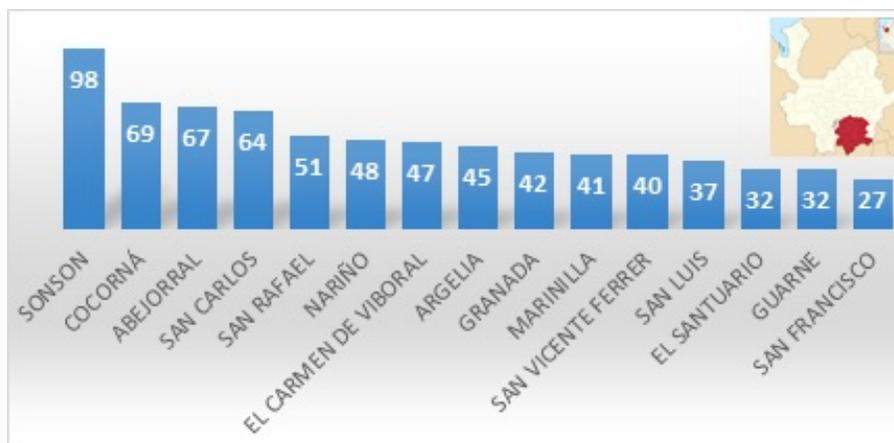


Figura 3.2: Numero de E.E. desconectados en municipios del Oriente Antioqueño. Fuente: Bases de datos de la Secretaría de Educación de Antioquia.

De los municipios seleccionados, se encuentra que Sonsón es el que cuenta con mayor número de establecimientos educativos desconectados, para lo que se aplican cálculos y simulaciones con las coordenadas georeferenciadas obtenidas en un sistema de grados, minutos y segundos. Debido a las estandarizaciones de diferentes sistemas de información, fue necesario realizar una conversión a números decimales para que el sistema de coordenadas tuviera compatibilidad con diferentes software.

Una vez se contaba con coordenadas de las sedes desconectadas con latitud y longitud (Puntos X y Y), era necesario contar con la información de la altura sobre el nivel del mar de cada posición (Puntos X, Y y Z) porque resulta fundamental obtener este insumo para un modelamiento con mayor precisión, para lo que se utilizó una API de Google Maps<sup>2</sup> que permite consultar ubicaciones en la superficie terrestre y obtener datos de elevación.

Ya con los puntos X, Y y Z de cada establecimiento educativo (E.E) del municipio de Sonsón, fue necesario calcular la distancia entre cada uno de los puntos con el fin de obtener una de las variables fundamentales para el cálculo de los enlaces, teniendo en cuenta que el rango de cobertura de la propagación de las señales inalámbricas tienen limitaciones de distancia. Para este cálculo se emplea la fórmula de Haversine, donde son requeridas las

<sup>2</sup>Toda la información relacionada con la API de elevation de Google Maps está disponible en el enlace: <https://developers.google.com/maps/documentation/elevation/intro?hl=es-419>

variables latitud, longitud y la constante del radio de la tierra ( $R = 6372,795477598Kms$ ). La fórmula aplicada para hallar la distancia es la siguiente:

$$2R\sin_{-1} = \sqrt{\sin_2 \frac{2}{lat2 - lat1} + \cos(lat1)\cos(lat2)\sin_2 \frac{2}{lon2 - lon1}} \quad (3.1)$$

Ahora bien, con los puntos georeferenciados en X, Y y Z; y las distancias, era fundamental conocer el perfil altitudinal entre cada una de las sedes educativas del municipio de sonsón, lo que permite conocer las condiciones topográficas que en algunas condiciones, podrían afectar la visibilidad entre los puntos representando dificultades técnicas para recibir una buena potencia de la señal. Para evaluar dichos perfiles, se seleccionaron aleatoriamente 15 establecimientos educativos, obteniendo 105 enlaces y calculando entre cada uno de ellos la distancia y evaluando la línea de vista.

Cada uno de los 105 enlaces (entre las 15 sedes) tomó un valor con respecto a la distancia y la línea de vista, esto permitió obtener una matriz<sup>3</sup> y aplicar el algoritmo de Dijkstra para determinar la ruta mínima de un grafo ponderado en sus aristas [24]. De esta forma se toman los caminos con menos pesos para conectar las sedes y evaluando la línea de vista entre los mismos. Los resultados arrojados por el algoritmo fueron los resaltados en rojo en la figura 3.3.

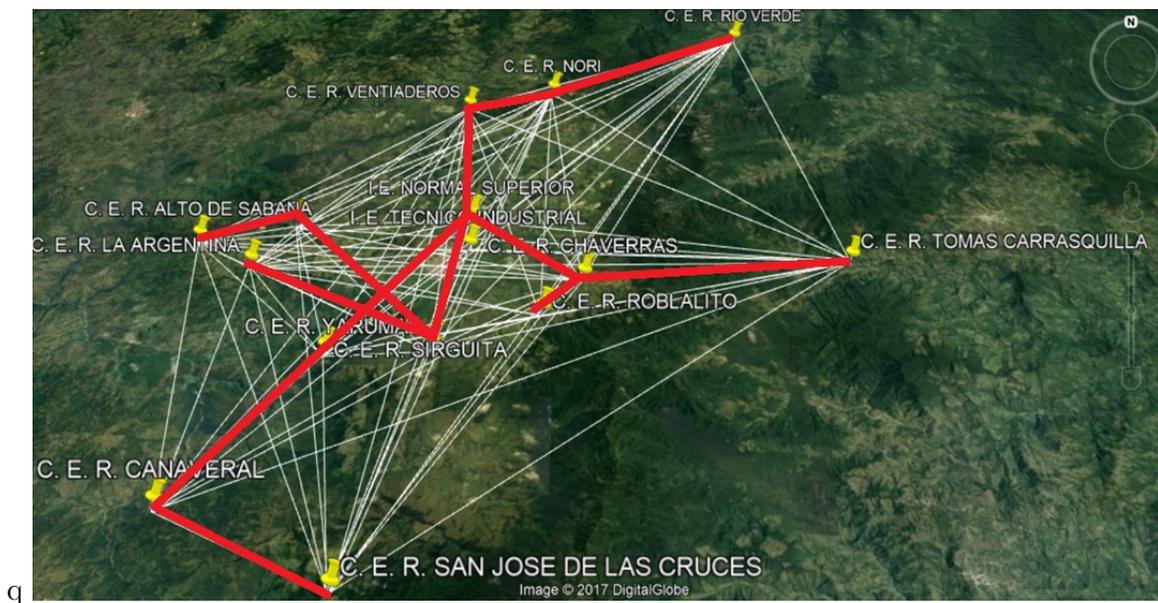


Figura 3.3: Resultado algoritmo Dijkstra. Fuente propia.

<sup>3</sup>Esta matriz del valor de cada enlace se puede encontrar en el Anexo: Perfil altitudinales, matriz Distancia y línea de vista

Aunque obtener los resultados del algoritmo de Dijkstra sugiere cuales son los enlaces con menos dificultades para comunicar un punto A y un punto B, es necesario realizar evaluaciones a los enlaces resultantes como la aplicación de la primera zona de Fresnel.

Considerando lo anterior, se muestran muestran los cálculos de dos enlaces, uno en el que la zona de Fresnel se ve afectada y otro en que no tiene ninguna afectación:

### I.E. Normal - C.E.R. Chaverras

Entre la Institución Educativa Normal Superior y el Centro Educativo Rural Chaverras se realizaron los cálculos respectivos para determinar si el enlace es interrumpido por condiciones geográficas. Para obtener estos resultados, lo primero que se realizó fue sumar  $25m$  a la altura de cada establecimiento educativo suponiendo que la torre instalada en cada extremo tiene estas medidas.

Altura I.E. Normal con incremento de antena  $h = 2551 + 25 = 2576$

Altura C.E.R. Chaverras con incremento de antena  $h = 2521 + 25 = 2546$

Al obtener estos datos, se calcula la recta entre los dos puntos, reemplazando (X) de la fórmula que se presenta a continuación:

$$m = \frac{y - y'}{x - x'} \quad (3.2)$$

$$m = \frac{2546 - 2576}{4880} \quad (3.3)$$

$$m = -0,00615 \quad (3.4)$$

$$y = m(x) + b \quad (3.5)$$

$$y = -0,00615(x) + 2576 \quad (3.6)$$

Se calcula el radio de la primera zona de Fresnel con la formula representada en siguiente ecuación.

$$R_1 = \sqrt{\lambda \frac{d_1 d_2}{(d_1 + d_2)}} \quad (3.7)$$

$$\begin{aligned} r1 &= \sqrt{(0,53) \frac{(1120)(3360)}{4880}} \\ &= 21,09 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r2 &= \sqrt{(0,53) \frac{(2240)(2240)}{4880}} \\ &= 23,34 \end{aligned}$$

Todos los datos obtenidos en la aplicación de cada una de las formulas descritas anteriormente, se registra en la tabla 4.1. En este caso, se alcanza a observar que en la evaluación realizada en ningún punto la altura del perfil altitudinal supera la altura de la zona de Fresnel o la altura de la recta entre los puntos A y B. Por esta razón puede concluirse que el radio de la primera zona de Fresnel no está afectada tal y como se muestra en la figura 3.4

Tabla 3.1: Altitud evaluada en n distancias - Zona de Fresnel no afectada. Fuente propia.

<b>Distancia en metros</b>	0	1220	2240	3660	4880
<b>Altura de la recta</b>	2576	2569,1	2562,2	2555,3	2546
<b>Altura zona Fresnel</b>	2576	2548,1	2539,2	2534	2546
<b>Altura perfil altitud</b>	2576	2470	2410	2400	2546

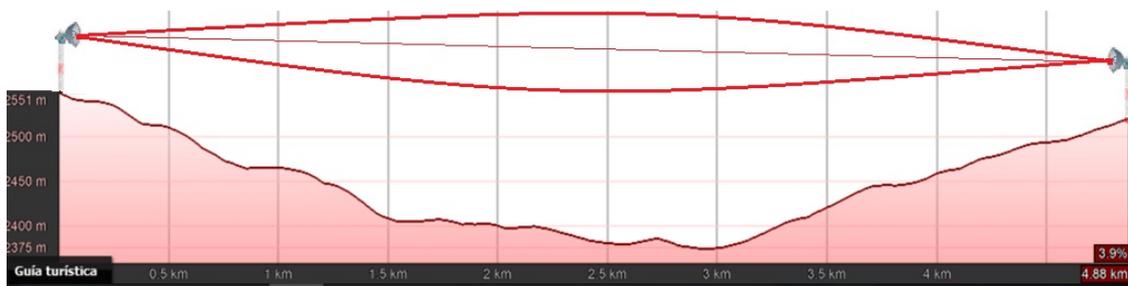


Figura 3.4: Zona de Fresnel no afectada. Fuente propia.

### C.E.R. Río Verde - C.E.R. Norí

Entre estos dos centros educativos rurales se encontró que la primera zona de Fresnel está afectada por la altura de la montaña entre los puntos. Para obtener estos resultados, lo primero que se realizó fue sumar  $25m$  a la altura de cada C.E.R. suponiendo que la antena instalada en cada punto tiene estas medidas:

- Altura C.E.R. Río Verde con incremento de antena  $h = 2978 + 25 = 3003$
- Altura C.E.R. Norí con incremento de antena  $h = 1387 + 25 = 1412$

Ya con estos datos, se procede a hallar la recta entre los dos puntos reemplazando (X) en determinadas distancias en metros.

$$m = \frac{y - y'}{x - x'} \quad (3.8)$$

$$m = \frac{1412 - 3003}{7850} \quad (3.9)$$

$$m = -0,20 \quad (3.10)$$

$$y = m(x) + b \quad (3.11)$$

$$y = -0,20(x) + 2576 \quad (3.12)$$

Se calcula el radio de la primera zona de Fresnel con la formula representada en siguiente ecuación.

$$R_1 = \sqrt{\lambda \frac{d_1 d_2}{(d_1 + d_2)}} \quad (3.13)$$

$$r1 = \sqrt{\frac{(0,53)(1308,3)(6541,6)}{7850}} = 24,04 \quad (3.14)$$

$$r2 = \sqrt{\frac{(0,53)(2616,6)(5233,3)}{7850}} = 30,41 \quad (3.15)$$

$$r3 = \sqrt{\frac{(0,53)(3924,9)(3924,9)}{7850}} = 32,25 \quad (3.16)$$

Todos los datos obtenidos en la aplicación de cada una de las formulas descritas anteriormente, se registra en la tabla 3.2. En este caso, se alcanza a observar que en la evaluación realizada en la distancia (3,924,9m) la altura del perfil altitudinal supera la altura de la zona de Fresnel y la altura de la recta entre los puntos A y B, por esta razón se puede concluir que el radio de la primera zona de Fresnel está afectada tal y como se muestra en la figura 3.5

Tabla 3.2: Altitud evaluada en n distancias - Zona de Fresnel afectada. Fuente propia.

<b>Distancia en metros</b>	0	1308,3	2616,6	3924,9	5233,3	6541,6	7850
<b>Altura de la recta</b>	3003	2741,3	2479,7	2218,02	1956,3	1694,7	1412
<b>Altura zona Fresnel</b>	3003	2717,3	2419,3	2185,77	1925,9	1670,6	1412
<b>Altura perfil altitud</b>	3003	2698,1	2238	2513,5	1480,5	1380,4	1412



Figura 3.5: Zona de Fresnel afectada. Fuente propia.

En vista de que la señal entre estos dos puntos se ve afectada, se recomienda la instalación de una antena repetidora en la distancia de 3,100m del enlace donde se alcanza una altura de 2,716m sobre el nivel del mar aproximadamente. Para lograr conectar estos lugares distantes que no tienen cobertura por las condiciones geográficas desfavorables, se presenta el plan de mejora de conectividad en Antioquia en el siguiente capítulo.

Adicionalmente, se entregan con la tesis los códigos en Python con los cuales se calcularon: altura de las sedes, distancias entre sedes y algoritmo de Dijkstra (anexo 6) y un documento de Excel con información segmentada por pestañas: Establecimientos educativos georeferenciados, perfiles altitudinales, matriz de peso de enlaces (anexo 7). donde se detallan los procesos y resultados mencionados en este capítulo.

Para terminar, se presenta la secuencia de procesos realizados en esta tesis para conectar las instituciones educativas rurales desconectadas por medio de Radio Enlaces 3.6, partiendo de la claridad que otra alternativa de conexión es el Internet Satelital pero para los entes territoriales es insostenible en el tiempo el alto costo del servicio.

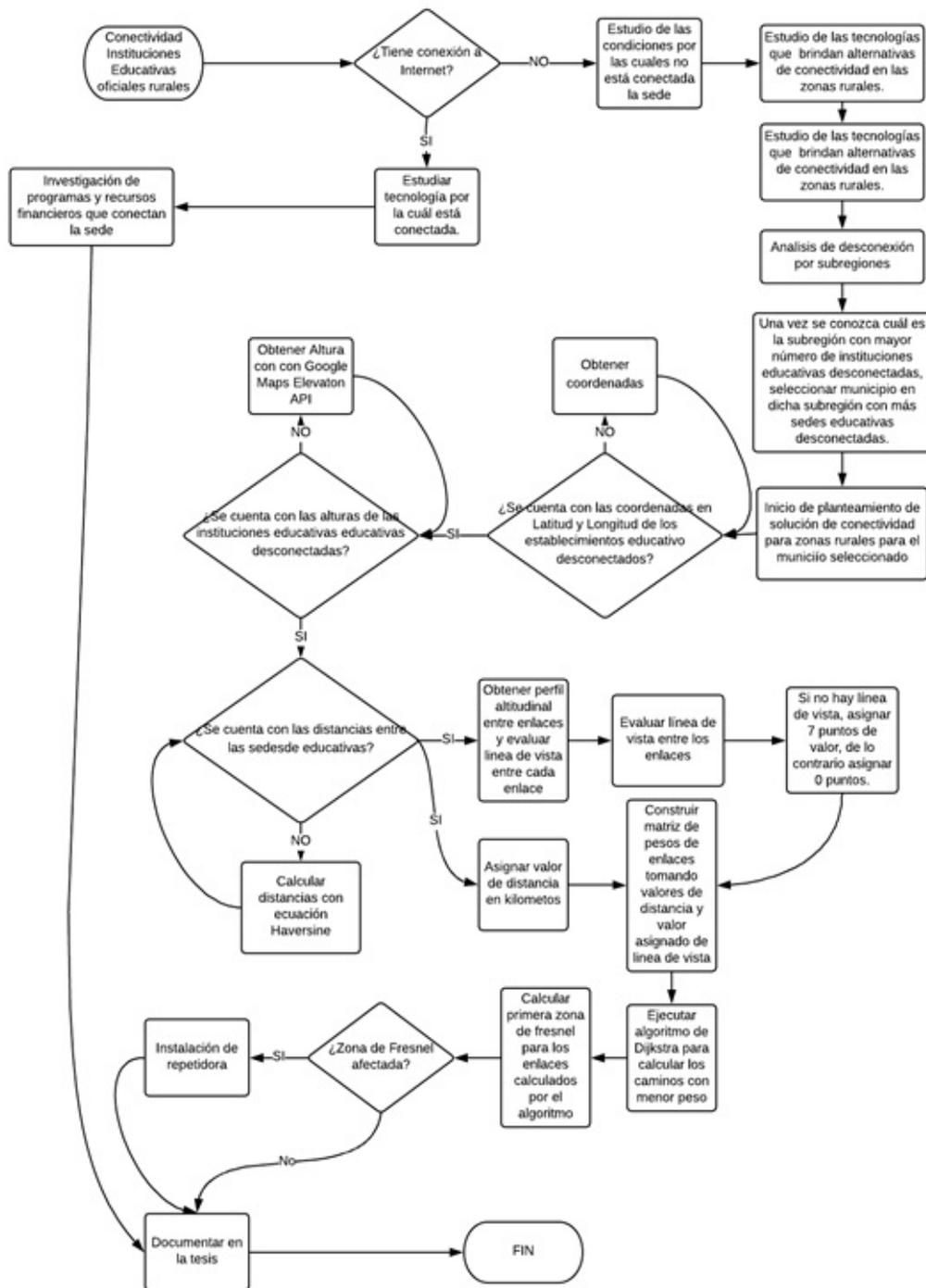


Figura 3.6: Diagrama de flujo.

## Capítulo 4

# Plan de mejora de conectividad en Antioquia

Después de realizar el estudio de caso en un municipio específico -Sonsón- y establecer un proceso para calcular los enlaces entre las sedes, se plantea en el presente capítulo un plan de mejora para lograr un mayor cubrimiento de Internet en los establecimientos educativos oficiales de los municipios no certificados de Antioquia. La característica de dichos espacios es que carecen de cubrimiento de servicios de telecomunicaciones teniendo en consideración cada una de las condiciones actuales como la disponibilidad en tecnologías, viabilidad técnica, presupuestal y accesibilidad.

El objetivo general planteado de esta tesis se basó en el conocimiento de la necesidad de conexión a Internet en las instituciones educativas rurales en las diferentes subregiones de Antioquia. Para que esta tesis cumpla ese objetivo, se llevaron a cabo reuniones con la Dirección TIC de la Secretaría de Educación Departamental y con la Secretaría de Educación de Rionegro poniendo a disposición los estudios realizados para contribuir así a los estudios necesarios que se deben realizar por parte de los entes territoriales para la contratación de los servicios de Internet en las instituciones educativas.

Para el plan se presentarán una serie de pasos que deben tenerse en cuenta desde el acceso principal hasta las terminales usadas en la institución educativa, (a) Acceso principal, (b) Conexión a sedes educativas y (c) Red Interna:

**Acceso principal:**

El Proyecto Nacional de Fibra Óptica<sup>1</sup> se propuso conectar a este medio de transmisión un mayor número de municipios para transportar más y mejores servicios para los ciudadanos. Actualmente se han conectado el 96 por ciento de las cabeceras municipales, pasando de 200 municipios conectados en el año 2.010 a 1.075 que en el 2018 cuentan con esta tecnología. A continuación, en la figura 4.1 se puede ver el mapa de las cabeceras municipales conectadas en el país.

---

<sup>1</sup>Mayor información del proyecto en <http://www.mintic.gov.co/portal/vivedigital/612/w3-propertyvalue-647.html>



Figura 4.1: Mapa del Proyecto Nacional de Fibra Óptica. Fuente: MINTIC

Sin embargo, algunos municipios no fueron incluidos para conectar con Fibra Óptica por limitaciones geográficas. No obstante, estos municipios, serán beneficiados con la puesta en marcha del Proyecto de Conectividad de Alta Velocidad<sup>2</sup> y podrán acceder mediante tecnologías satelitales o terrestres a los servicios de voz, datos y video; y

<sup>2</sup>Mayor información sobre el proyecto en: <http://www.mintic.gov.co/portal/vivedigital/612/w3-propertyvalue-7240.html>

complementariamente a proyectos sociales de la Dirección de Infraestructura del Ministerio TIC.

En el caso particular de Antioquia, los municipio de Murindó y Vigía del Fuerte ubicados en la Subregión de Urabá, serán los únicos que no contarán con Fibra Óptica pero lo harán a la red de alta velocidad, permitiendo que un 100 por ciento de los municipios en la zona urbana puedan tener un acceso a Internet con condiciones necesarias para distribuir servicios de buena calidad para las instituciones educativas rurales.

Es por esta razón que este plan propuesto, realizó los cálculos teniendo como nodo principal una institución educativa urbana, teniendo en cuenta que todas tiene un servicio de Internet con capacidad, estabilidad y velocidad necesarios para distribuir la señal a otras sedes educativas. De esta forma se plantea que desde la institución educativa que esté ubicada en una zona urbana se de inicio a la red para cada municipio.

Desde el nodo principal en la institución educativa urbana, se propone instalar un servicio de fibra óptica con la capacidad suficiente para atender las demanda del tráfico de Internet de las instituciones educativas que se vayan a conectar y teniendo en cuenta los rangos de ancho de banda especificados en la figura 1.2.

### **Conexión a sedes educativas:**

Para conectar las instituciones educativas rurales desde este nodo principal, se plantea instalar radio enlaces Punto-Multi-Punto hacia las sedes educativas, siguiendo los pasos mencionados en el proceso establecido en la figura 3.6 (a) Obtener coordenadas en latitud, longitud y altura, (b) Calcular la distancia entre los puntos, (c) Obtener perfil altitudinal, (d) Aplicar algoritmo de Dijkstra y (e) Calcular la primera zona de Fresnel. Para tener la claridad de la inversión económica que debe realizarse para que la red opere como se describe, se obtienen los costos y características de este tipo de servicio en la documentación técnica de contratos celebrados por la Secretaría de Educación de Antioquia para conectar las instituciones educativas.

Para los casos en los que la distancia supere los límites técnicos como la atenuación, que no exista línea de vista o que la zona de Fresnel esté afectada, se propone la instalación de una antena repetidora que permita resolver estas dificultades. Para tener claridad de los costos que se deben asumir para esta antena repetidora, se solicitó a la empresa SELTIC<sup>3</sup> información relacionada con los costos de los enlaces requeridos para conectar estos dos puntos. En respuesta a esto, presentaron una propuesta en la cual se consideran equipos Cambium Networks en banda no licenciada de 5GHz (Rango 4910 - 5970 Hz). Las frecuencias entre las bandas 470MHz a 698 MHz, por las cuales funciona TVWS no fueron

---

<sup>3</sup>Toda la información relacionada con los costos entregados por la compañía SELTIC se pueden encontrar como anexo en el documento: Propuesta solución radio enlaces con punto repetidor en Banda no licenciada de 5GHz con equipos Cambium Networks

contempladas para conectar las instituciones educativas rurales puesto que la Agencia Nacional del Espectro está realizando pruebas desde el 2017 hasta el 2019 para evaluar la tecnología.

El ancho de banda determinado para cada una de las sedes, debe ser calculado con respecto al número de terminales que se encuentren en la sede educativa, esto está representado en la figura 1.2 y es fundamental tenerlo en cuenta para lograr un buen desempeño en el uso de la red.

### **Red Interna:**

Entre los años 2010 y 2015, el número de terminales entregadas a los establecimientos ha tenido un incremento notable, tal y como se muestra en la figura 4.2. Por lo tanto, las redes internas deben ser adecuadas para soportar el número de conexiones simultáneas y peticiones en la red.

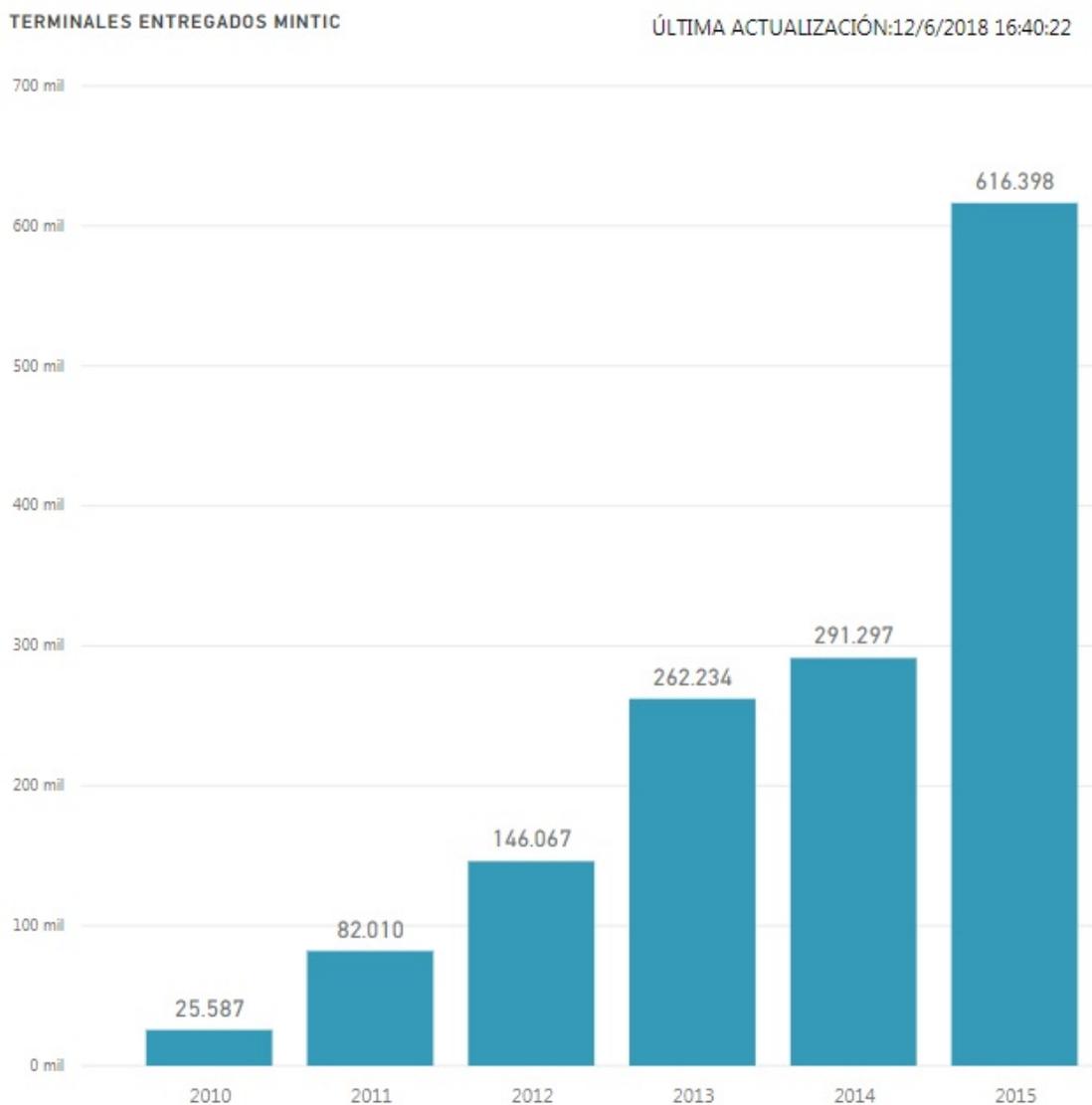


Figura 4.2: Terminales entregadas Computadores para Educar. Fuente: CPE

Esto se ha venido contemplando en la Secretaría de Educación Departamental y se han implementado redes WLAN diseñadas para permitir la accesibilidad a los contenidos educativos digitales, trabajar de forma colaborativa con personas de otros lugares y articular escenarios virtuales y a distancia.

Tomando como referencia el documento anexo del presupuesto dotación Tecnológica y audiovisual para Ciudades Educativas de Antioquia, por sede, se estiman diferentes componentes como: (a) Access Point (Indoor), (b) Controladora APS, (c) Switch, (d) Rack, (e) Servidor Web Caché y (f) Adecuaciones eléctricas.

## Costos:

Teniendo en cuenta que para lograr una buena conexión con los requerimientos técnicos necesarios para que la red funcione adecuadamente, se deben considerar los tres items anteriormente descritos: (a) Acceso principal, (b) Conexión a sedes educativas y (c) Red Interna.

A continuación se presenta una tabla con los costos de los componentes necesarios para conectar las instituciones educativas rurales que no cuentan con cobertura en determinado municipio, los precios de referencia fueron tomados del contrato interadministrativo de la Secretaría de Educación número 4600007464<sup>4</sup> y los documentos anexos número 3 y 4.

Tabla 4.1: Costos de equipos y servicios. Fuente propia.

ITEM	COSTO MES	18 MESES
Fibra Óptica (F.O) - 50 Mbps	470.249	8.464.482
Satelital KU - 3 Mbps	2.582.581	46.486.458
Radio enlace (Punto A)	Único pago	2.251.600
Repetidora	Único pago	23.912.767
Radio enlace (Punto B)	Único pago	2.251.600
Valor aproximado WLAN	Único pago	39.000.000

Actualmente, cuando una institución educativa rural no cuenta con cobertura por ningún medio de transmisión, la única alternativa de conexión es la tecnología satelital KU; suponiendo que hay 5 sedes sin conexión y que debe calcularse el costo para conectarlas, el resultado puede obtenerse aplicando la siguiente fórmula (a):

$$CostoConexión = CostoSatelitalKU(Sedes) \quad (4.1)$$

$$CostoConexión = 46,486,458(5) \quad (4.2)$$

$$CostoConexión = 232,432,290 \quad (4.3)$$

$$CostoWLAN = CostoWLAN(Sedes) \quad (4.4)$$

$$CostoWLAN = 39,000,000(5) \quad (4.5)$$

$$CostoWLAN = 195,000,000 \quad (4.6)$$

<sup>4</sup>Fue consultado en el portal de Colombia Compra Eficiente con el número de proceso 7508. El sitio web de consulta es: <https://www.contratos.gov.co/puc/buscador.html>

$$\text{ValorTotal} = \text{CostoConexión} + \text{CostoWLAN} \quad (4.7)$$

$$\text{ValorTotal} = 232,432,290 + 195,000,000 \quad (4.8)$$

$$\text{ValorTotal} = 427,432,290 \quad (4.9)$$

El resultado de los estudios en esta tesis, propone que se realice una conexión por medio de radio enlaces para llegar a las instituciones educativas rurales sin cobertura por las rutas más eficientes que arroje el algoritmo de Dijkstra, para calcular este costo suponiendo el mismo número de sedes sin cobertura -5-, se plantea la siguiente ecuación (b):

$$\text{CostoConexión} = F.O. + ((\text{PuntoA} + \text{Repetidora} + \text{PuntoB}) * (\text{Sedes})) \quad (4.10)$$

$$\text{CostoConexión} = 8,464,482 + ((2,251,600 + 23,912,767 + 2,251,600) * (5)) \quad (4.11)$$

$$\text{CostoConexión} = 150,544,317 \quad (4.12)$$

$$\text{CostoWLAN} = \text{CostoWLAN}(\text{Sedes}) \quad (4.13)$$

$$\text{CostoWLAN} = 39,000,000(5) \quad (4.14)$$

$$\text{CostoWLAN} = 195,000,000 \quad (4.15)$$

$$\text{ValorTotal} = \text{CostoConexión} + \text{CostoWLAN} \quad (4.16)$$

$$\text{ValorTotal} = 150,544,317 + 195,000,000 \quad (4.17)$$

$$\text{ValorTotal} = 345,544,317 \quad (4.18)$$

Se compara el costo total de la ecuación (a) 427.432.290 -Internet Satelital KU- con el valor de la ecuación (b) 345.544.317 -Radio enlaces- se puede ver una diferencia de 81.887.973 COP, lo que evidencia una reducción en el costo para la conexión de las sedes educativas rurales. Pero no solo representa un beneficio en términos económicos, además de esto, el servicio de Internet Satelital tiene una mayor latencia y mayores pérdidas debido a la distancia, mientras que los radio enlaces propuestos, pueden tener un mejor desempeño en cuanto a disponibilidad del servicio, latencia y velocidad de transferencia.

Esta información con respecto a la calidad del servicio, fue validada en el documento anexo 5 -Documento técnico para la prestación del servicio de Internet en las sedes y parques educativos del Departamento de Antioquia-, específicamente en el punto que se hace mención a los acuerdos de nivel del servicio (ANS) donde se contemplan cada uno

de los indicadores dependiendo del tipo de tecnología a la cual está conectada una sede educativa, mostrando en todos los casos indicadores inferiores en el servicio de Internet satelital.

Sin embargo, los datos y cálculos presentados en esta tesis, como: (a) Georeferenciación de las Instituciones Educativas adscritas a la Secretaría de Educación de Antioquia, (b) bases de datos de las I.E. conectadas y desconectadas, (c) distancias entre las sedes (d) línea de vista, (e) cálculo zona de fresnel, y (f) algoritmo de Dijkstra aplicado en caso de estudio; son algunas de las consideraciones necesarias para garantizar el enlace pero también es necesario tener en cuenta el ancho de banda de cada uno de los enlaces, lo cual es establecido por el Ministerio de Educación Nacional teniendo en cuenta el número de equipos disponibles en las instituciones.

Para estos cálculos, se solicitó por medio del sistema de Sistema de Atención al Ciudadano de la Gobernación de Antioquia<sup>5</sup> los datos, pero no fue posible contar con información de la cantidad de equipos por institución educativa. Por esta razón se sugiere que para una eventual conexión con el modelo sugerido, se tenga claridad de esta información.

## Conclusiones

- Los estudios de maestría en los que se dio como resultado esta tesis, fueron en su mayor porcentaje financiados por la primera convocatoria de Gobierno Electrónico la cual es una estrategia liderada por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones -MinTIC- este programa “fomenta el uso y fortalecimiento de instrumentos técnicos, normativos y de política pública que promueven la construcción de un Estado más eficiente, transparente y participativo, y que a su vez, preste mejores servicios con la colaboración de toda la sociedad mediante el aprovechamiento de la tecnología.”
- Considerando los lineamientos técnicos dados desde el programa Conexión Total para que las conexiones de la instituciones educativas cumplan con ciertos parámetros de calidad en el servicios y alta disponibilidad; específicamente en el punto en que hacen referencia a las soluciones inalámbricas de datos la propuesta de conexión presentada en esta tesis cumple con las especificaciones técnicas exigidas, teniendo en cuenta que se da el lineamiento de en caso de hacer uso de tecnologías inalámbricas si se utiliza banda libre, solo se aceptan sistemas en la banda de 5.8 GHz, en los que se garantice línea de vista óptica total y línea de vista eléctrica con al menos el 60 por ciento libre en la primera zona de Fresnel. Todo lo anterior cumpliendo con la regulación nacional vigente de MINTIC.[2]

---

<sup>5</sup>El número del radicado sin respuesta fue el 201500465503 en el sitio: [http://sac.gestionsecretariasdeeducacion.gov.co:2380/crm\\_sed\\_v30/default.php?ent=5000](http://sac.gestionsecretariasdeeducacion.gov.co:2380/crm_sed_v30/default.php?ent=5000)

- Los estudios realizados para contribuir a la solución de esta problemática, se hicieron con la intención de plantear alternativas para las instituciones educativas rurales que en este momento no cuentan con servicio de Internet y que no tienen la posibilidad de acceder a esta fuente de información y conocimiento que representa una herramienta necesaria para la comunidad educativa.
- El plan de mejora presentado, se basa en un menor costo y mejor rendimiento del servicio, soportado en propuestas económicas y técnicas factibles que pueden ser consideradas por las entidades territoriales para lograr conexión en estos lugares alejados, brindando oportunidades y equidad a poblaciones lejanas y reduciendo la brecha digital rural.
- Esta tesis será entregada a la Secretaría de Educación de Rionegro, específicamente a la Subsecretaría de Planeación Educativa, con lo que se espera aportar a los avances en materia de conectividad para los establecimientos educativos rurales de este municipio. No solo se entregará la información a la entidad sino que además, se socializará con las personas encargadas de este tema lo que representa un aporte desde la academia al sector público beneficiando principalmente a la comunidad educativa.

## Consideraciones finales

- La Secretaría de Educación departamental tiene a su cargo la administración de 117 municipios de Antioquia en temas educativos, distribuidos en 4.300 sedes educativas aproximadamente, estas sedes se encuentran en zonas urbanas y rurales en una proporción cerca del 11 por ciento en zona urbana y 89 por ciento en zona rural.

Para el año 2016, sumando esfuerzos de diferentes entidades como el Ministerio TIC, la Gobernación de Antioquia, el Ministerio de Educación Nacional a través del Programa Conexión Total, administraciones municipales y las mismas instituciones educativas, se lograron conectar 2.360 sedes con servicio de Internet. Sin embargo, para el año 2017 y debido a el recorte de recursos presupuestales por parte del Gobierno Nacional, únicamente se lograron conectar cerca de 500 sedes

Se puede determinar que los establecimientos educativos oficiales que se encuentran ubicados en la zona rural de los municipios no certificados del departamento de Antioquia, son los más afectados cuando no hay condiciones técnicas o presupuestales para suministrar una conexión. Por esta razón, se sugiere que los trabajos dirigidos a contribuir a la solución de esta problemática, se articulen el gobierno, el sector privado y la academia para que los proyectos tengan una perspectiva más amplia y mayores probabilidades de éxito favoreciendo a las zonas rurales.

- En los años 2016 y 2017 se han dado avances importantes en el mejoramiento de tecnologías para conectar las instituciones educativas rurales, antes del año 2016 solo se brindaba servicio de Internet satelital KU, ahora también se cuenta con la posibilidad de conectar a Internet satelital KA que es una tecnología con la que puede ofrecerse una mayor velocidad, mayor estabilidad y menor costo, sin embargo no hay cobertura en todo el territorio antioqueño.

Además de los mejoramientos en los parámetros de servicio del Internet Satelital, se han comenzado a realizar pilotos de la tecnología TVWS en el municipio de Abejorral, aunque desde la Gobernación de Antioquia fueron reservados con los resultados de las pruebas realizadas, estos esfuerzos se ven traducidos en incursión de nuevas tecnologías para el sector rural en un futuro próximo.

- Desde el congreso Nacional de Educación Rural<sup>6</sup>, en su manifiesto final menciona que el nivel educativo y la falta de acceso a bienes públicos, como el servicio de Internet, genera que los jóvenes abandonen el campo. Esta es una de las razones por las cuales los avances de los estudios de tecnologías con impacto en la educación rural, son susceptibles de ser analizados y adaptados a las necesidades del contexto en materia de conectividad en las instituciones educativas rurales.

## Trabajos futuros

- El Plan de Mejora de Conectividad para Antioquia presentado en esta tesis, plantea la utilización de la banda no licenciada de 5GHz (Rango 4910 - 5970 Hz) para conectar las instituciones educativas rurales. Estas frecuencias tienen mayor afectación debido a la condiciones geográficas que interfieren en la línea de vista o la zona de Fresnel, mientras que la tecnología TVWS (Rango 470MHz a 698 MHz) tiene menores pérdidas en condiciones desfavorables. Sin embargo, no se propone la utilización de TVWS debido a que se estarán realizando pruebas de la tecnología por parte de la Agencia Nacional del Espectro hasta finales del año 2019, antes de que sea dispuesta al público.

Durante ese periodo se pondrá a prueba la estabilidad, la compatibilidad con dispositivos en el mercado, tiempos de respuesta; y, adicionalmente, se verificarán algunas de las restricciones en la normatividad, como la altura promedio de las antenas por encima del terreno y otros parámetros que fueron establecidos en la reglamentación para garantizar la protección contra interferencias a las asignaciones existentes [10].

Este tiempo de pruebas establecido será de utilidad para estudiar las tendencias y experiencias internacionales; además de los nuevos adelantos que surjan en la tecnología. Esto permitirá que en el momento que la tecnología entre a operar

---

<sup>6</sup>Información sobre este congreso en: <http://congresoeducacionruralcoreducacion.com>

públicamente, se optimice el nuevo uso que se le dará a este rango de frecuencias en el espectro.

Según lo expuesto anteriormente, se puede plantear que para el momento que se realicen trabajos futuros con el objetivo de conectar las instituciones educativas rurales, una solución más adecuada puede darse utilizando la tecnología TVWS.

# Bibliografía

- [1] M. de Educación Nacional de Colombia, “Número de estudiantes promedio por computador,” 2018. [Online]. Available: <https://www.mineduccion.gov.co/1759/w3-article-354999.html>
- [2] M. de Educación Nacional, “Lineamiento técnico conexión total,” *Programa Conexión Total.*, 2016. [Online]. Available: [http://www.mineduccion.gov.co/1759/articles-321649\\_Lineamiento\\_tecnico\\_sedes\\_educativas.pdf](http://www.mineduccion.gov.co/1759/articles-321649_Lineamiento_tecnico_sedes_educativas.pdf)
- [3] M. Mateu, C. Cobo, and J. Moravec, “Plan ceibal 2020: future scenarios for technology and education—the case of the uruguayan public education system,” vol. 6, 12 2018.
- [4] D. L. Johnson and C. Mikeka, “Malawi and south africa pioneer unused tv frequencies for rural broadband,” *IEEE Spectrum*, 2016. [Online]. Available: <https://spectrum.ieee.org/telecom/internet/malawi-and-south-africa-pioneer-unused-tv-frequencies-for-rural-broadband>
- [5] J. D. U. Gallego, “Colegios digitales para mejorar la calidad educativa,” *El Colombiano*, 2013. [Online]. Available: [http://www.elcolombiano.com/historico/colegios\\_digitales\\_para\\_mejorar\\_la\\_calidad\\_educativa-HAEC\\_271512](http://www.elcolombiano.com/historico/colegios_digitales_para_mejorar_la_calidad_educativa-HAEC_271512)
- [6] R. Boix, “La escuela rural: funcionamiento y necesidades,” 2004.
- [7] V. J. H. G. W. Peres, “Banda ancha en américa latina: más allá de la conectividad,” 2013. [Online]. Available: <http://virtualeduca.org>
- [8] E. G. Nacional and L. FARC-EP., “Acuerdo final para la teminación del conflicto y la construcción de una paz estable y duradera,” *Acuerdo final.*, 2016. [Online]. Available: <http://www.altocomisionadoparalapaz.gov.co/procesos-y-conversaciones/Paginas/Texto-completo-del-Acuerdo-Final-para-la-Terminacion-del-conflicto.aspx>
- [9] S. de Educación de Antioquia, “Base de datos establecimientos educativos en antioquia,” Gobernación de Antioquia, Excel, 2017.
- [10] A. Agencia Nacional del Espectro, “Documento de respuestas a los comentarios recibidos al borrador de resolución “por la cual se modifica la resolución 711 de 2016

- mediante la adopción de las condiciones de uso de dispositivos de espacios en blanco”, 07 2017.
- [11] H. Galperín, “Sociedad digital: brechas y retos para la inclusión digital en américa latina y el caribe,” 2017. [Online]. Available: <http://www.unesco.org>
- [12] G. de Antioquia, “Plan de desarrollo 2016 - 2019,” Gobernación de Antioquia, PDF, 2016.
- [13] C. de Regulación de Comunicación, “Resolución crc 5161 de 2017,” 2017. [Online]. Available: <https://www.crcm.gov.co/resoluciones/00005161.pdf>
- [14] R. N, “De las montañas al espacio, con el programa medellín espacial,” *Actualidad*, 2015. [Online]. Available: <https://www.rutanmedellin.org//es/actualidad/sala-de-prensa/item/programa-medellin-espacial-2>
- [15] R. M. Tiwari, “Study on google’s loon project,” in *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering Technology (IJARCET)*.
- [16] ARSAT, “Plan de conectividad de escuelas rurales,” 2018. [Online]. Available: <http://www.arsat.com.ar/plan-de-escuelas/>
- [17] T. Olwal, M. Masonta, L. Mfupe, and M. Mzyece, “Broadband ict policies in southern africa: Initiatives and dynamic spectrum regulation,” in *2013 IST-Africa Conference Exhibition*, May 2013, pp. 1–8.
- [18] F. A. A. Tafur, J. E. A. Peña, J. G. B. Medina, J. D. Z. Pulido, and M. L. S. Peñaloza, “Methodology to implement pilot testing of opportunistic use of radio spectrum in white spaces,” in *IEEE Colombian Conference on Communication and Computing (IEEE COLCOM 2015)*, May 2015, pp. 1–5.
- [19] A. N. del Espectro, “Tvws: Normatividad y proyectos,” 2016.
- [20] P. C. Uruguay, “Piloto tvws,” *Espacio Tecnológico*, 2016. [Online]. Available: <http://blogs.ceibal.edu.uy/tecnologia/texto/piloto-tvws/>
- [21] M. T. Masonta, T. M. Ramoroka, and A. A. Lysko, “Using tv white spaces and e-learning in south african rural schools,” in *2015 IST-Africa Conference*, May 2015, pp. 1–12.
- [22] M. E. del Moral Pérez, L. V. Martínez, and M. del Rosario Neira Piñeiro, “Oportunidades de las tic para la innovación educativa en las escuelas rurales de asturias,” *Aula Abierta*, vol. 42, no. 1, pp. 61 – 67, 2014. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0210277314700101>
- [23] S. Educación, “Tecnologías empolvadas,” in *Semana Educación*, Feb 2018, pp. 10–11.

- [24] M. J. C. O. D. C. H. A. Tinoco, “Determinación del método Óptimo de operaciones de ensamble bimanual con el algoritmo de dijkstra (o de caminos mínimos),” 2017. [Online]. Available: <https://scielo.conicyt.cl>

## Documentos anexos

Estos documentos, son entregados adjuntos a la tesis en una memoria USB:

1. Plan de Desarrollo Antioquia Piensa en Grande 2016 - 2019: Este documento permitió conocer y estar en coherencia con las metas del Gobierno Departamental en cuanto a la conectividad en las instituciones educativas rurales.
2. Entrevista realizada a Docente de la I.E.R. El Edén en Granada Antioquia, realizada por la periodista Ana Isabel Mejía: Esta entrevista permite conocer desde la voz de un actor de una institución educativa rural, la importancia de la conectividad a servicios de Internet para la comunidad educativa.
3. Presupuesto Dotación Tecnológica y Audiovisual para Ciudadelas Educativas de Antioquia: Este documento fue utilizado para conocer los componentes y costos de las redes WLAN instaladas en las instituciones educativas del departamento.
4. Propuesta solución radio enlaces con punto repetidor en Banda no licenciada de 5GHz con equipos Cambium Network: Este es un documento solicitado a una entidad privada con el fin de conocer los costos de los equipos y mano de obra para instalar los radio enlaces.
5. Documento técnico para la prestación del servicio de Internet en las sedes y parques educativos del Departamento de Antioquia: Este documento fue utilizado para conocer la oferta de tecnologías para conectar las instituciones educativas a Internet y los acuerdos de nivel de servicio (ANS).
6. Códigos en Phyton con los cuales se calcularon: altura de las sedes, distancias entre sedes y algoritmo de Dijkstra: Estos códigos permitieron obtener una respuesta efectiva sobre los cálculos necesarios en los enlaces.
7. Documento de excel con información segmentada por pestañas: Establecimientos educativos georeferenciados, perfiles altitudinales, matriz de peso de enlaces: En este documento se encuentran los registros y avances de los resultados que se iban obteniendo a los largo del desarrollo de la tesis.